

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

*“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”*



**Carbono orgánico del suelo bajo diferentes condiciones forestales,  
bienes comunales San Juan Cuahutémoc.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**MARÍA FERNANDA GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

**Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega**

Noviembre 2019

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

*“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”*



**Carbono orgánico del suelo bajo diferentes condiciones forestales,  
bienes comunales San Juan Cuahutémoc.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta

**MARÍA FERNANDA GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

Comité Tutorial:

Director	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega
Integrante de comité tutorial	Dr. José Víctor R. Tamaríz Flores
Integrante de comité tutorial	Dra. María Teresa Zayas Pérez
Integrante de comité tutorial	Dra. Edith Chaves Bravo

Noviembre 2019

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>11</b>
1. 1.- Introducción. ....	11
1. 2.- Planteamiento de problema. ....	14
1. 3.- Justificación .....	15
1. 4.- Pregunta de investigación. ....	16
1. 5.- Hipótesis. ....	16
1. 6.- Objetivos. ....	16
1. 6. 1.- Objetivo general. ....	16
1. 6. 2.- Objetivos particulares. ....	16
<b>CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA. ....</b>	<b>17</b>
2. 1.- Marco teórico – conceptual. ....	17
2. 1. 2.- Cambio climático como tema en la crisis ambiental. ....	17
2. 1. 3.- Cambio climático: su relación con el ciclo de carbono. ....	18
2. 1. 3.- Los sumideros de carbono y su importancia para el cambio climático. ....	19
2.-1. 4.- El suelo como sumidero y almacén de carbono en ecosistemas forestales. ....	20
<b>CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....</b>	<b>36</b>
3. 1.- Climatología. ....	37
3. 2.- Fisiografía. ....	40
3. 3.- Edafología. ....	41
3. 4.- Geología. ....	43
3. 5.- Hidrología. ....	43
3. 6.- Vegetación. ....	43
3. 7.- Uso de suelo. ....	44
3. 8.- Demografía .....	45
3. 9.- Plan anual de cortas .....	46
<b>CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>50</b>
4. 1.- Etapa de gabinete. ....	50
4. 1. 1.- Recopilación de información y su análisis. ....	50
4. 1. 2.- Diseño de encuesta. ....	52
4. 2.- Etapa de campo. ....	52
4. 2. 1.- Reconocimiento de la zona de estudio. ....	52
4. 2. 2.- Muestreo. ....	53
4. 3.- Etapa de laboratorio .....	55
4. 3. 1.- Caracterización física y química de las muestras del suelo .....	55

4. 4.- Análisis de datos. ....	56
4. 4. 1.- Análisis de COS (ton/ha) en diferentes condiciones forestales y determinación de la variable más influyente. ....	57
4. 4. 3.- Prueba de hipótesis. ....	57
4. 4. 3.- Determinación de variables físico - químicas más importantes. ....	57
4. 4. 4.- Análisis de las variables físico - químicas más importantes y su relación con el COS. ....	58
<b>CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....</b>	<b>58</b>
5. 1.- Etapa de campo. ....	58
5. 1. 1.- Muestreo. ....	58
5. 2.- Análisis de datos ....	65
5. 2. 1.- Determinación del carbono orgánico del suelo (ton/ha) en diferentes condiciones forestales. ....	65
5. 2. 2.- Análisis del COS (ton/ha) en diferentes condiciones forestales. ....	67
5. 2. 3.- Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo. ....	73
5. 2. 4.- Análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y Carbono Orgánico del Suelo. ....	91
5. 2. 5.- Análisis de la percepción social. ....	95
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES. ....</b>	<b>101</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>103</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA ....</b>	<b>103</b>
<b>X. ANEXOS. ....</b>	<b>114</b>
Anexo I. Formato de encuesta. ....	114
Anexo II. Formato para la descripción de perfiles de suelo y evaluación de entorno. ....	116
Anexo III. Glosario ....	118
Anexo IV. Agradecimientos personales. ....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Reservas de carbono e intercambio entre la atmósfera, vegetación y suelo. Fuente. Hillel, 2010.</b>	19
<b>Figura 2. Ubicación de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan, Puebla. Fuente. Elaboración propia.</b>	37
<b>Figura 3. Climogramas estaciones climatológicas “Santa Rita Tlahuapan”, “Nanacamilpa”, “Río Frío” y “Sombbrero”. Fuente. Elaboración propia con base a las Normales Climatológicas (SMN).</b>	39
<b>Figura 4. Climograma complementario. Fuente. Elaboración propia.</b>	40
<b>Figura 5. Mapa de vegetación de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc. Fuente. Elaboración propia.</b>	44
<b>Figura 7. Plan Anual de Cortas del ciclo 2012 – 2022 en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b>	50
<b>Figura 8. Esquema de las herramientas utilizadas en el muestreo de suelo. Fuente. Elaboración propia.</b>	54
<b>Figura 9. Áreas de manejo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc. Fuente. Elaboración propia.</b>	55
<b>Figura 10. Mapa de los puntos de muestreo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan. Fuente. Elaboración propia.</b>	61
<b>Figura 11. Mapa de la distribución de carbono orgánico del suelo (ton/ha) en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b>	70
<b>Figura 12. Gráfico de sedimentación de la varianza de los componentes, muestra la acumulación.</b>	87
<b>Figura 13. Círculo de correlaciones de las variables más importantes en el ACP. dpH: <math>\Delta</math> pH, e: elevación.</b>	89
<b>Figura 14. Gráficos de sedimentación del modelo de regresión lineal múltiple.</b>	91
<b>Figura 15. Histograma del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada por manejo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b>	92
<b>Figura 16. Distribución espacial del NDVI en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b>	93
<b>Figura 17. Gráficos de sedimentación del modelo de regresión lineal.</b>	94
<b>Figura 20. Uso del bosque para los BCSJC, siendo el uso más importante la obtención de agua.</b>	98
<b>Figura 21. Representa las palabras más frecuentes de mención con el mayor tamaño y va disminuyendo según la mención. Fuente: elaboración propia González González, 2019.</b>	100
<b>Figura 22. Formato para la descripción del entorno</b>	116
<b>Figura 23. Formato para descripción de perfiles de suelo</b>	117

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Sumideros de carbono en ecosistemas terrestres.</b>	20
<b>Tabla 2. COS (ton/ha) y otras propiedades fisicoquímicas reportadas en ecosistemas forestales de Bosques templados, dentro ANP’S en México.</b>	25
<b>Tabla 3. Valores de reflectancia de NDVI.</b>	34
<b>Tabla 4. Datos de estaciones climatológicas.</b>	38
<b>Tabla 5. Datos del factor de corrección por altitud.</b>	39
<b>Tabla 6. Tipo de uso de suelo y cobertura en 2006. Bienes comunales de San Juan Cuauhtémoc.</b>	44
<b>Tabla 7. Indicadores del grado de marginación de la Localidad San Juan Cuauhtémoc, municipio de Tlahuapan, Puebla.</b>	45
<b>Tabla 8. Análisis de laboratorio según las propiedades del suelo.</b>	56
<b>Tabla 9. Descripción del perfil 1 en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b>	62
<b>Tabla 10. Descripción del perfil 2 en los Bienes Comunales de San Juan Cuauhtémoc.</b>	63
<b>Tabla 11. Descripción del perfil 3 Bienes Comunales de San Juan Cuauhtémoc.</b>	64
<b>Tabla 12. Estadística descriptiva de las variables usadas para el cálculo del COS (ton/ha).</b>	66
<b>Tabla 13. Medias generales de COS, C, DAP y FG por condición forestal: manejo, formación vegetal y profundidad de la muestra tomada en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b>	67
<b>Tabla 14. Análisis de la varianza de las condiciones forestales.</b>	69

<b>Tabla 15. Estadística descriptiva de propiedades físicas del suelo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b> .....	73
<b>Tabla 16. Estadística descriptiva de las propiedades químicas del suelo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b> .....	74
<b>Tabla 17. Estadística descriptiva de las características de la materia orgánica del suelo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b> .....	75
<b>Tabla 18. Clase textural y color del suelo en el Área de Aprovechamiento (AP) y Bosque de Pino (BP).</b> ..	77
<b>Tabla 19. Clase textural y color del suelo en el área de aprovechamiento y bosque de Pino Encino.</b> .....	78
<b>Tabla 20. Clase textural y color del suelo en el área de aprovechamiento y Bosque de Oyamel.</b> .....	78
<b>Tabla 21. Clase textural y color del suelo en el Área sin Aprovechamiento (SA) y Bosque de Pino (BP).</b> ...	80
<b>Tabla 22. Clase textural y color del suelo en el área sin aprovechamiento y bosque de Oyamel.</b> .....	81
<b>Tabla 23. Clase textural y color del suelo en el área sin manejo y bosque de Pino.</b> .....	82
<b>Tabla 24. Clase textural y color del suelo en el área sin manejo y bosque de Pino – Encino.</b> .....	82
<b>Tabla 25. Clase textural y color del suelo en el área sin manejo y bosque de Oyamel.</b> .....	83
<b>Tabla 26. Valores propios para elegir los Componentes Principales.</b> .....	88
<b>Tabla 27. Pesos de los componentes en los tres primeros componentes principales.</b> .....	88
<b>Tabla 28. Modelo de Regresión Lineal Múltiple.</b> .....	90
<b>Tabla 29. Estadística descriptiva de NDVI y COS (ton/ha).</b> .....	92
<b>Tabla 30. Porcentaje por área de manejo en la clasificación del NDVI.</b> .....	92
<b>Tabla 31. Media y desviación estándar de COS y NDVI por manejo.</b> .....	95

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1. Localización de las estaciones climatológicas “Santa Rita Tlahuapan”, “Nanacamilpa”, “Río Frío” y “Sombrero”. Fuente. Google earth.</b> .....	38
<b>Imagen 2. Truchera en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc. Fuente. González – González, 2019.</b> .....	47
<b>Imagen 3. Restaurante de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc. Fuente. González – González, 2019.</b> 48	
<b>Imagen 4. Cabañas de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc. Fuente. González – González, 2019.</b> .....	49
<b>Imagen 5. Rollo de madera comercial. Fuente. González – González, 2019.</b> .....	49
<b>Imagen 6. Corrección atmosférica de imagen satelital en la zona de estudio.</b> .....	52
<b>Imagen 7. Visita de reconocimiento a la zona de estudio. Fuente. González – González, 2019.</b> .....	53
<b>Imagen 8. Área de aprovechamiento forestal (AP). Fuente. González – González, 2019.</b> .....	59
<b>Imagen 9. Área sin aprovechamiento forestal (SA). Fuente. González – González, 2019.</b> .....	59
<b>Imagen 10. Área sin manejo forestal (SM). Fuente. González – González, 2019.</b> .....	60
<b>Imagen 11. Aplicación de encuesta a uno de los informantes clave en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.</b> .....	97

## **ABREVIATURAS**

**AP:** aprovechamiento

**BCSJC:** Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc

**C:** franco

**CA:** franco arenoso

**Ch:** chroma

**CL:** franco limoso

**C/N:** relación carbono nitrógeno

**CO:** carbono orgánico

**CO<sub>2</sub>:** dióxido de carbono **SM:** sin manejo

**COS:** carbono orgánico del suelo

**CP:** componente principal

**DAP:** densidad aparente

**FG:** fragmentos gruesos

**H:** hue

**M:** manejo

**NDVI:** Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

**NT:** nitrógeno total

**P:** profundidad

**PAC:** plan anual de cortas

**MMOBI:** Método Mexicano de Ordenación de Bosques de Masas Irregulares

**SA:** sin aprovechamiento

**CV:** cobertura vegetal

**Va:** value

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por ser mi casa de estudios desde la Licenciatura en Biología y ahora en la Maestría en Ciencias Ambientales, quien me permitió enfrentarme a la vida y la profesión.*

*Al posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias (ICUAP) por darme la oportunidad de elaborar este trabajo de investigación y abordar los problemas ambientales desde una actitud crítica y responsable, con una visión integral para contribuir en el manejo y conservación de los recursos naturales del país.*

*Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber financiado estos estudios para la obtención del grado de Maestría y por el apoyo con la Beca Mixta para la realización de la movilidad académica a la Universidad Politécnica de Madrid.*

*Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) por el apoyo otorgado para la realización de la movilidad académica.*

*A la Dra. Rosalía Castelán Vega, directora de esta tesis, por su apoyo en la realización de este trabajo de investigación, por su valioso tiempo y recomendaciones. También agradezco al Dr. Víctor Tamaríz quien es mi tutor y siempre me apoyó en el trabajo de campo.*

*Al honorable Comité Tutorial, por sus aportaciones y siempre comentarios oportunos en este trabajo de investigación.*

*Al Cuerpo Académico del Posgrado en Ciencias Ambientales y del Instituto en Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, de quienes siempre he recibido su apoyo.*

*A los doctores, maestros y compañeros del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas DICA, con quienes he compartido buena parte de mi formación académica en el posgrado.*

*A mis amigos y compañeros de la Maestría.*



## **Dedicatoria**

*Dedico esta tesis producto de mí pasión por la investigación “hacia algo” a: mis padres Raúl Alejandro González Molina y Ruth María González García. Papá, gracias porque en estos dos años me sentí más cerca de ti que nunca. Mamá gracias por tú valentía y actuar para que siempre la familia este en amor y armonía, los amo, ustedes son mis guías, mis maestros de vida. A mi hermana Daniela González González quien siempre es fuente de admiración, a mí hermano Abraham, a mi sobrina Natalia Castro González quien es la dulzura de mi corazón. Los amo infinitamente. También a mi semillita de la vida, porque todo lo que ahora soy es por ti y para ti, gracias y te honro por siempre.*

*También dedico y agradezco a Antonio Pacheco Rios por decidir compartir tú vida conmigo.*

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL.**

### **1. 1.- Introducción.**

La actual crisis ambiental ha llevado a serios problemas causados por la racionalidad del extractivismo y las ansias de un incremento a cualquier precio de la productividad económica. Uno de esos problemas es el cambio climático (Leff, 2013), el cual es un fenómeno natural en el que intervienen diversos procesos: físicos, químicos, biológicos, sociales y económicos entre otros; los cuales están sumamente relacionados con la dinámica de los ecosistemas y los ciclos biogeoquímicos, principalmente el del carbono (C) y el hidrológico, pero que han sido alterados principalmente por las actividades humanas (Monreal *et al.*, 2005; IPCC, 2007; Rojas - García, 2017).

El cambio climático se ha acelerado por la variación de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI's) que alteran el equilibrio energético del sistema climático. Desde la era preindustrial estos gases se han incrementado por las actividades humanas (IPCC, 2007; Zamora, Mendoza y Guerrero, 2017). El aumento de estos gases se debe principalmente al uso de combustibles fósiles, a los cambios de uso de suelo y al manejo de la tierra (Monreal *et al.*, 2005; IPCC, 2007). El gas de efecto invernadero (GEI) de larga permanencia y antropógeno más importante es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), su concentración atmosférica reciente es de 413 ppm excediendo el intervalo natural de valores de los últimos 650,000 años (NOAA Earth System Research Laboratory; Global Monitoring Division, 2019).

Los sistemas ecológicos de la tierra, por medio de los cuales el CO<sub>2</sub> queda retenido en forma de carbono orgánico (CO), desempeñan un papel positivo para la mitigación del cambio climático global. Uno de los sistemas ecológicos terrestres más importantes son los ecosistemas forestales, los cuales cubren globalmente 4.1 billones de hectáreas, de esta manera, los bosques del mundo tienen una gran influencia en el clima, ya que a través de los procesos y funciones ambientales regulan el sistema energético, ciclo hidrológico y la composición atmosférica del planeta (Bonan, 2008).

Dentro de los ecosistemas forestales, los bosques templados se extienden a través de una superficie de 1.04 Mha, y de acuerdo con las estimaciones a nivel mundial la densidad de carbono orgánico del suelo y de la vegetación contienen 122 y 96 ton/ha, respectivamente (Lal, 2005a). Siendo de esta manera, el suelo el reservorio más importante en los ecosistemas forestales almacenando más del 80 % de todos los reservorios de carbono orgánico terrestre del mundo (Jandl *et al.*, 2006; Six *et al.*, 2002). En este sentido, la capacidad del suelo para

almacenar carbono orgánico depende de sus propiedades y usos, lo cual se da a través de una compleja interacción entre factores abióticos y bióticos, incluyendo el hombre (Lal, 2005a).

El manejo de los bosques juega un papel importante en los procesos de estabilización del carbono orgánico del suelo (COS) por tal motivo, es trascendental, analizar el papel que juegan los propietarios del bosque y su percepción ante su territorio (John, Yamashita, Ludwig y Flessa, 2005). Actualmente, se sabe que las actividades como: la gestión forestal, los métodos de selección de especies y la duración de la rotación de corta influyen en la concentración del COS (Álvarez y Rubio, 2016), por lo que de esta manera, las buenas prácticas de manejo forestal favorecerán la restauración y preservación de las reservas de carbono orgánico en el suelo, sus funciones ecosistémicas, así como también, la mejora de las prácticas de manejo para la mitigación ante el cambio climático global.

La presente propuesta de investigación es relevante en las Ciencias Ambientales, Ciencia del Suelo y Ciencias Forestales, porque en México, los estudios de carbono orgánico se han centrado en el almacenamiento del carbono orgánico en la biomasa vegetal, y en particular, en la estimación del carbono orgánico en el suelo, pero solo en porcentajes. Por ejemplo, tan solo en el estado de Puebla se reportan 12 investigaciones publicadas basadas en esta línea de investigación (Rojas *et al.*, 2017), en este sentido son pocos los estudios sobre carbono orgánico del suelo por unidad de superficie (ton/ha) en México (Galicia *et al.*, 2016). Por lo que esta investigación tiene como objetivo la generación de información del contenido de carbono orgánico en el suelo por unidad de área. Por otro lado, en México los estudios y mapas de suelo no proporcionan información del porcentaje de fragmentos gruesos y la densidad aparente, propiedades del suelo necesarias para estimar el carbono orgánico del suelo por unidad de área (Áviles – Hernández *et al.*, 2009; Paz *et al.*, 2016; Delgado – Carranza *et al.*, 2016). Por lo tanto, esta investigación promueve el uso de técnicas efectivas para la estimación a escala local del carbono orgánico del suelo por unidad de área.

Además, a nivel mundial, diversos autores han realizado estudios acerca de los efectos causados por las prácticas de manejo forestal en el carbono orgánico del suelo (Jandl *et al.*, 2007; Lal, 2005a). En estos estudios se explica que el almacenamiento del COS tiene mayor potencial cuando los programas de manejo forestal hacen que se mantenga una cubierta forestal similar a un bosque natural. Por lo anterior, el contenido de COS debe ser considerado para determinar el impacto del manejo forestal, además de usarse como una estrategia importante en la restauración y preservación de las reservas del carbono orgánico del suelo, además, esto

proporciona otros beneficios ambientales, económicos y sociales (Pérez – Ramírez, 2013). Además, es importante toma en cuenta que en los diferentes tipos de cobertura vegetales el COS no se comporta de la misma manera, ya que la materia orgánica proveniente de un bosque de Pino se caracteriza por presentar un componente principal la lignina, que es un elemento recalcitrante de la madera, por lo tanto, el COS se estabiliza por décadas, en este caso se han reportado valores de 19 – 238 ton/ha en bosques templados (Cruz y Etchevers, 2011). Otro elemento importante es la profundidad, se sabe que conforme aumenta la profundidad la cantidad de carbono orgánico en el suelo disminuye, pero suele existir un comportamiento distinto en bosques con aprovechamiento forestal (Pérez – Ramírez, 2013).

En este sentido, la presente investigación estimó la cantidad de carbono orgánico por unidad de área (COS ton/ha) del suelo bajo diferentes condiciones forestales en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, en el Municipio de Tlahuapan, Puebla, predio que actualmente se encuentra bajo un programa de manejo forestal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), para ello se definieron las siguientes áreas de manejo forestal: con aprovechamiento (AP), sin aprovechamiento (SA) y sin manejo (SM), y diferentes tipos de cobertura vegetal: Bosque de Pino (BP), Bosque de Pino - Encino (BPE) y Bosque de Oyamel (BO) a dos diferentes profundidades de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm del suelo, con el fin de contribuir a las bases científicas para el desarrollo de actividades encaminadas a la conservación y manejo de los ecosistemas forestales, y en particular el bien común natural, para evaluar el impacto del uso del territorio y por ende dar elementos para la mejora de las políticas públicas en materia ambiental.

## **1. 2.- Planteamiento de problema.**

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales más relevantes que enfrentan todos los seres vivos, es la causa de fenómenos climáticos extremos como: sequías, inundaciones, ondas de frío y calor, teniendo como principales consecuencias la pérdida de biodiversidad, entre otras cosas.

Para enfrentar este problema global en los últimos años se han creado diversos proyectos, programas e instituciones para reducir las emisiones de GEI's. Por ejemplo, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ha realizado una serie de propuestas destinadas a reducir las causas y atenuar los efectos causados por el cambio climático. También en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y en los acuerdos internacionales como el Protocolo de Kyoto y el Acuerdo de París se han indicado las bases para reducir las emisiones de GEI's (FAO, 2017).

Una de las maneras de contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, específicamente el CO<sub>2</sub>, es por medio del almacenamiento de este gas en forma de carbono orgánico en los sistemas ecológicos de la tierra. Uno de los sistemas ecológicos de la tierra más importantes son los ecosistemas forestales, de esta manera se tiene como objetivos 1) crear nuevos sumideros, tanto en proyectos de reforestación como de reconversión de terrenos con vocación forestal, los cuales cada vez son más atractivos por las tendencias actuales en el mercado global del carbono, 2) reducir la tasa de liberación de C y 3) mejorar los depósitos ya existentes mediante sistemas de ordenación (Jandl, 2001; Penman *et al.*, 2003).

En este sentido, los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc se encuentran bajo manejo forestal sustentable bajo regulación de la CONAFOR desde hace 25 años, por lo que han existido cambios en la cobertura vegetal, siendo el aprovechamiento forestal la principal actividad económica en el predio, no obstante, en los suelos se requiere evaluar el carbono orgánico del suelo (ton/ha) para saber si las condiciones de manejo han favorecido o no su aumento.

### **1. 3.- Justificación**

La actual crisis ambiental se reconoce como un problema global, aunque no es homogéneo, se ha dado por procesos de globalización, dislocación del ser humano con la naturaleza y su mercantilización. Este es un conflicto que va más allá de la pérdida de bienes y servicios ambientales, es la pérdida en sí mismo y del sentido de la vida (Leff, 2013). Este es un tema de interés para las ciencias ambientales pues al hacer uso de la racionalidad ambiental, adentramos a la interrelación existente de la teoría y la práctica, de esta forma, se dirige la investigación hacia una dialéctica con actores sociales (Leff, 2013). La desorganización ecosistémica del planeta, la creciente entropía de los procesos productivos industrializados guiados por el capitalismo – consumismo han generado la necesidad de integrar diversas disciplinas, metodologías, conceptos y teorías para comprender no solo los efectos, si no las causas de eventos, la dinámica socio ambiental de una manera más compleja y ya no desde una visión reduccionista – disciplinaria (Leff, 1994).

Con base a lo anterior, la generación de información y la evaluación de la cantidad de carbono orgánico en unidad de área en suelos forestales de los bosques templados de México, relacionado con su manejo sustentable resulta indispensable ante la mitigación al cambio climático. La pertinencia de este trabajo radica, por un lado, en la evaluación de las características naturales (propiedades físicas y químicas) del suelo para almacenar carbono orgánico, y por otro lado, analizar desde la complejidad del sistema, el papel tan importante del manejo y aprovechamiento de los propietarios y gestores en el bosque de la población local, la cual es un factor determinante dentro del sistema para la reducción o no de este servicio ecosistémico de regulación, siendo en este caso la figura de los integrantes de los Bienes Comunes de San Juan Cuauhtémoc (BCSJC), Tlahuapan los que cumplen este papel de gestión del territorio, encaminándolos al empoderamiento social y una incipiente gobernanza ambiental, y así generando una nueva concepción hacia los servicios ecosistémicos.

#### **1. 4.- Pregunta de investigación.**

¿Las diferentes condiciones forestales propiciadas por el manejo en los bienes comunales San Juan Cuauhtémoc están determinando las diferencias en la cantidad del carbono orgánico en el suelo?

#### **1. 5.- Hipótesis.**

El manejo forestal es uno de los factores más importantes que determinan la diferencia en la concentración carbono orgánico del suelo en los BCSJC, Tlahuapan.

#### **1. 6.- Objetivos.**

##### **1. 6. 1.- Objetivo general.**

Estimar bajo diferentes condiciones de manejo forestal la cantidad de carbono orgánico en el suelo e identificar la percepción de los comuneros sobre los servicios ecosistémicos forestales de provisión y regulación en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan.

##### **1. 6. 2.- Objetivos particulares.**

1. Estimar la concentración del COS a dos profundidades bajo diferentes condiciones forestales: Aprovechamiento (AP), Sin Aprovechamiento (SA), Sin Manejo (SM), y con diferentes tipos de vegetación: Bosque de Pino (BP), Bosque de Pino - Encino (BPE), Bosque de Oyamel (BO) en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan.
2. Analizar las variaciones de las propiedades físico – químicas del suelo bajo diferentes condiciones forestales en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan.
3. Analizar la relación entre el carbono orgánico del suelo y el índice de vegetación de diferencia normalizada a través de un modelo lineal simple en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan.
4. Identificar la percepción de los comuneros sobre la importancia ambiental del aprovechamiento forestal como un servicio ecosistémico de provisión, así como el almacén del carbono orgánico del suelo como un servicio ecosistémico de regulación local en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc Tlahuapan.

## **CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA.**

### **2. 1.- Marco teórico – conceptual.**

#### **2. 1. 2.- Cambio climático como tema en la crisis ambiental.**

La Ley General de Cambio Climático (2016) define al cambio climático como una variación natural del sistema climático observada durante periodos comparables. De manera natural la tierra recibe radiación solar (radiación infrarroja), que interactúa con moléculas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en la parte baja de la atmósfera, esta interacción ocasiona una excitación y vibración molecular produciendo energía cinética y térmica; cierta parte de esta radiación es emitida nuevamente a la atmósfera (emisividad), y otra parte, pasa directamente a la superficie de la tierra y es distribuida por circulaciones atmosféricas y oceánicas. La superficie de la tierra absorbe una parte de esta energía térmica, y otra parte, es reflejada al espacio, la relación entre estas dos se llama albedo. Si existen cambios o variaciones en los ciclos de energía emitida, absorbida y reemitida se refleja en un cambio climático.

Los gases de efecto invernadero más importantes son: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). De estos, el CO<sub>2</sub> es el GEI antropógeno más importante, debido a que sus emisiones han aumentado un 80 % entre los años 1970 – 2004 (IPCC, 2007). Por lo que, año con año desde finales de los años 60's, se han observado fluctuaciones en el clima, con cambios drásticos en las precipitaciones y la temperatura, pérdida de biodiversidad, derretimiento de glaciares, aumento del nivel del mar, pérdida de servicios ecosistémicos (SSAOT, 2011; INEGEI, 2013; Valera *et al.*, 2014), y otras problemáticas socio ambientales como la inseguridad alimentaria, hídrica, edáfica, energética, migración biológica y social.

Un tipo de forzamiento radiativo es el aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero, pues no permiten que la radiación reemitida salga de la Tierra al espacio. Por lo que, la temperatura de la superficie se elevará para emitir más energía (forzamiento positivo). De manera que, mientras mayor sea la concentración de gases de efecto invernadero, menor será la cantidad de radiación infrarroja que saldrá de la atmósfera al espacio exterior (Ordoñez, 1990). El impacto antropogénico tiene fuertes consecuencias, por ejemplo, los aerosoles utilizados en las industrias que contienen clorofluorocarbonos (CFC) y la quema de bosques por el cambio de uso de suelo, pueden reflejar la radiación solar (Ordoñez, 1999). Por lo que, toda variación altera la circulación del mar y de la atmósfera, por lo tanto, el ciclo hidrológico se ve afectado (Magaña, 2004).

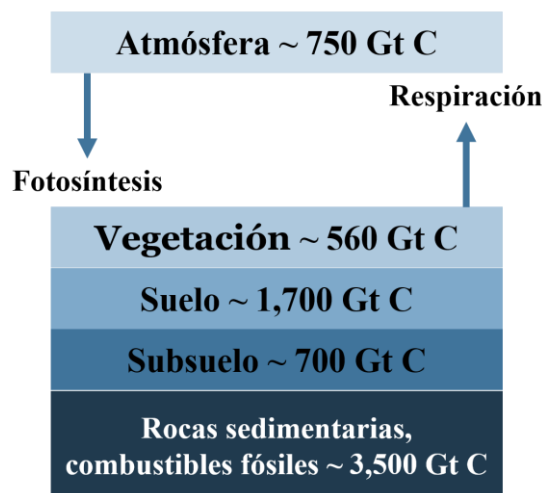


### 2. 1. 3.- Cambio climático: su relación con el ciclo de carbono.

El C es un elemento precursor de la vida que forma compuestos orgánicos y presenta enlaces con el nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno, que constituyen las moléculas que hacen posible la vida. El ciclo del carbono es un ciclo biogeoquímico que describe el flujo del carbono en la tierra. Dentro del ciclo de carbono existen dos procesos, por un lado, el ciclo biológico, en donde el C circula entre la materia orgánica mediante la fotosíntesis y la respiración y, por otro lado, el ciclo geoquímico, en donde el carbono circula entre la pedosfera, geósfera, hidrosfera y atmósfera. Cuando el C se une con el oxígeno se forma dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que es el gas que se mueve por todo el ciclo biogeoquímico del carbono. En este contexto, la circulación del carbono es fundamental para mantener la temperatura del planeta adecuada para los seres vivos, debido a que, sin su presencia la temperatura de la tierra sería  $33^\circ\text{C}$  más fría que la temperatura promedio del planeta (Jaramillo, 2004). Sin embargo, las actividades como la deforestación y el cambio de uso de suelo han incrementado los flujos del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera.

En el ciclo corto del C, la cantidad de C orgánico en el suelo es mayor que en la atmósfera y la vegetación (**Figura 1**). Por ejemplo, la descomposición de residuos vegetales y animales es la principal fuente de C en el suelo, y a través del proceso de fotosíntesis las plantas capturan el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, que pasa a formar parte de su propio tejido dando origen a la biomasa vegetal. Esto se conoce como producción primaria bruta (PPB), y representa el total del consumo de dióxido de carbono por medio de la fotosíntesis. En este complejo proceso, parte del C es devuelto a la atmósfera como  $\text{CO}_2$  debido a la respiración de las plantas (respiración autotrófica) y de los microorganismos del suelo. El balance entre la PPB y la respiración autotrófica se conoce como producción primaria neta (PPN), una parte se pierde en el metabolismo heterótrofo y en la respiración microbiana (Lal y Lorenz, 2012). La materia orgánica que es incorporada al suelo es aprovechada por los microorganismos como fuente de energía, como resultado, son liberados nutrientes para el crecimiento de plantas, esencialmente nitrógeno en forma de amonio  $\text{NH}_4^+$ , y nitrato  $\text{NO}_3^-$ , otros minerales como el S, P y K, quedan disponibles para las plantas.

**Almacenamiento de carbono y cambio climático:** las temperaturas más altas pueden provocar una descomposición más rápida de la materia orgánica del suelo, y de este modo, una liberación acelerada de dióxido de carbono a la atmósfera, provocando una retroalimentación positiva y un incremento adicional de la temperatura (Unión Europea, 2010).



**Figura 1. Reservas de carbono e intercambio entre la atmósfera, vegetación y suelo. Fuente. Hillel, 2010.**

### 2. 1. 3.- Los sumideros de carbono y su importancia para el cambio climático.

Se considera sumidero de carbono al compartimento ambiental por donde se canaliza el agua, nutrientes o cualquier tipo de compuesto físico, o que sirva de almacén de estos. En la actualidad este término es usado en los bosques para significar su papel de absorción del dióxido de carbono de la atmósfera y la consiguiente reducción del efecto invernadero (**Tabla 1**) (FAO, 2010a). En relación con el cambio climático, la Convención Marco de Cambio Climático de 1992 adoptó el concepto de sumidero de gases de efecto invernadero como; cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorba o elimine de la atmósfera uno de estos gases o uno de sus precursores, un aerosol y que lo almacene. En el ámbito del Protocolo de Kioto, la definición se limita a determinadas actividades de uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de áreas agrícolas), que se traducen en captura de dióxido de carbono presente en la atmósfera y su almacenamiento posterior en forma de material vegetal. Esta captura de Carbono contribuye a reducir la concentración de los gases de efecto invernadero de la atmósfera y, por lo tanto, a mitigar el cambio climático (IPCC; 2005).

La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono constituyen un proceso consistente en la separación de CO<sub>2</sub> emitido por la industria y fuentes relacionadas con la energía, su transporte a un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo. La captación y el almacenamiento de Carbono tienen la capacidad de reducir costos generales de la mitigación y aumentar la flexibilidad para lograr la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2005).

**Tabla 1. Sumideros de carbono en ecosistemas terrestres.**

Reservorio		Descripción
Biomasa viva	Biomasa sobre el suelo.	Toda la biomasa viva sobre el suelo, incluyendo troncos, ramas, corcho, corteza, semillas, hojas y tocones.
Materia orgánica muerta	Biomasa por debajo del suelo.	Toda la biomasa de las raíces vivas. Las raíces finas de menos de 2mm de diámetro son, a menudo, excluidas por su proceso continuado de degradación – regeneración.
	Madera muerta	Biomasa leñosa muerta, en pie, sobre el suelo o en el suelo. (la hojarasca no). Incluye madera sobre la superficie, raíces muertas y tocones mayores o iguales a 10 cm de diámetro.
Suelos	Hojarasca	Incluye toda la biomasa no viva en varios estados de descomposición, sobre el suelo mineral u orgánico.
	Materia orgánica del suelo	Incluye Carbono orgánico en suelos orgánicos y minerales (incluye turba).

**Fuente: FAO, 2010a.**

Una cuestión clave en los sumideros es la permanencia del carbono almacenado. Las cantidades de CO<sub>2</sub> absorbidas por un sumidero, por ejemplo, un bosque, pueden volver a la atmósfera si la cobertura vegetal desaparece por cualquier circunstancia. Las causas más comunes son las plagas, las enfermedades, los aprovechamientos extractivos, los incendios forestales. Debido a estos eventos, parte del CO<sub>2</sub> previamente absorbido y almacenado como carbono en los reservorios, sería reemitido a la atmósfera.

## **2.-1. 4.- El suelo como sumidero y almacén de carbono en ecosistemas forestales.**

### **2. 1. 4. 1.- Ecosistemas forestales.**

Dentro de los ecosistemas forestales existen tres biomas forestales: el boreal, templado y tropical, los cuales se distribuyen de acuerdo con la temperatura y las precipitaciones medias anuales. Por un lado, los ecosistemas forestales boreales se encuentran en el cinturón circumpolar, por otro lado, los ecosistemas forestales templados cubren latitudes de 25° y 50 ° norte y sur del Ecuador, y comprenden especies perenes y deciduas, mientras que, los

ecosistemas forestales tropicales se encuentran cerca de los 25° norte y sur del Ecuador, y también presenta especies perenes y deciduas (Lal, 2005a).

Aunque, la definición de forestal se ha dado en términos administrativamente políticos, en el uso de la cobertura terrestre y uso de la tierra (FAO, 2006). Un ecosistema forestal se define como; la tierra con más de 0.5 hectáreas con árboles de más de 5 metros de altura y con una cobertura vegetal del más del 10 %. En el caso de los árboles forestales pueden ser definidos por su larga vida, son perennes y con madera (Lorenz y Lal, 2010).

#### **2. 1. 4. 2.- Carbono orgánico en suelos forestales.**

El suelo es un cuerpo natural tridimensional, formado por una fase sólida, líquida y gaseosa; que se encuentra sobre la superficie de la tierra; presenta horizontes o capas que se diferencian una de otra, y del material inicial, como resultados de los procesos de adición, pérdida, translocación y transformación de la materia y energía (Soil Survey Staff, 2013). Recientemente, el suelo se estudia como un sistema complejo con redes metabólicas y autopoéticas que aseguran su autoorganización, autogeneración y autorreproducción, en un espacio y tiempo específicos (Capra, 2003). Además de tener propiedades emergentes como la productividad, resiliencia, resistencia, residencia, sostenibilidad, a través del capital natural, los suelos generan numerosas funciones ambientales, como por ejemplo, el secuestro y almacén de carbono que es generado a través de la cercana interacción entre la pedosfera con la atmósfera, hidrosfera, biosfera y litosfera (Lal *et al.*, 2013), por lo cual en los últimos años, los suelos han tenido gran atención por su interacción principalmente con el sistema climático de la tierra (FAO, 2015).

El suelo almacena a nivel global aproximadamente 1, 500 Pg (1 Pg = 10<sup>15</sup> g) de carbono orgánico, lo cual es el doble de lo que se encuentra en la atmósfera (750 Pg) y casi el doble de lo que almacena la vegetación (6% Pg) (Batjes, 1996; Robert, 2001). Pérez – Ramírez, Ramírez, Jaramillo – López y Bautista (2013) mencionan que el almacén de C y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera depende de sus propiedades y uso, pues es una compleja interacción entre el clima, el tipo de vegetación y su manejo (Lal, 2005a).

La dinámica de acumulación y distribución de la materia orgánica del suelo (MOS) surge de los procesos de estabilización y desestabilización, que a su vez son influenciados por factores bióticos, abióticos y factores antropogénicos (Jackson *et al.*, 2017). De acuerdo a Lal (2005b), los factores definidos, limitantes y reductores precisan la retención y captura de carbono en el suelo, por un lado, el origen del material parental, las características geomorfológicas

(pendiente y orientación de laderas) y la composición mineral del suelo son factores definidos (Lal, 2005b), por otro lado, los factores limitantes son la textura, profundidad, densidad aparente, fragmentos de roca y grado de erodabilidad, mientras que, los factores reductores que disminuyen la acumulación de carbono orgánico en el suelo son la erosión, deforestación, uso del suelo y manejo (FAO, 2002b).

A nivel mundial, los suelos forestales minerales contienen aproximadamente 700 Pg de carbono orgánico (IPCC, 2006), y en el caso de los suelos en bosques templados, que representan un área de 1.04 Mha, tienen una reserva de carbono de 292 Pg, de los cuales 153 se encuentra almacenado en el suelo y 139 Pg en plantas, mientras que, la densidad de carbono orgánico (Ton /ha) en suelos es de 122 y en plantas 96 (Lal, 2005a). A nivel global muchos de los bosques templados han sufrido un cambio de uso de suelo a la agricultura, provocando una importante afectación al sistema climático, debido a que las zonas de agricultura tienen un mayor albedo que los ecosistemas forestales. Los flujos que tienen los bosques de coníferas y los bosques de hojas caducas en zonas templadas tienen una temperatura radiativa de superficie menor a la de áreas de herbáceas, debido a la mayor conductividad aerodinámica y el enfriamiento por evaporación de los árboles, comparándolo con pastizales.

La revisión de bibliografía de Galicia *et al.*, (2016) sugiere que la información se concentra en estudios de almacenamiento de CO en la biomasa vegetal (52 artículos) y tan solo 20 artículos se encuentran relacionados a los suelos, esta diferencia se debe posiblemente a la demanda de estudios bajo la temática de evitar la deforestación en el contexto del programa de las Naciones Unidas para la Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques (REDD), y su mayor facilidad de monitoreo. Rojas *et al.*, (2017) reporta que 198 documentos sobre el carbono orgánico del suelo están en literatura gris, mientras que, 129 son artículos publicados en revistas indizadas. En el caso particular del estado de Puebla, solo existen 12 investigaciones publicadas, basadas en la estimación de la concentración de carbono orgánico del suelo en porcentaje de CO, por lo que son casi nulos los trabajos que estiman la concentración de carbono orgánico del suelo por unidades por área.

De los estudios relevantes en México, se tiene el de Segura – Castruita *et al.* (2004), en el cual se realizó uno de los primeros inventarios de COS en México, a partir de datos de SEMARNAT – COLPOS en el 2002, en el cual se recolectaron 4,583 muestras a una profundidad de 0 a 20 cm a lo largo del territorio nacional, estos datos se usaron para estimar la densidad de carbono por tipo de suelo y vegetación, con lo cual se generó un promedio nacional de 56 ton/ha, y en

la capa superficial un contenido de 10.5 Pg de CO, y para Puebla se registró 0.16 Pg C. Por región ecológica los suelos de Bosques de Coníferas y Encinos de selvas húmedas y secas de México aportan el 70% (2.86 Pg C) del COS.

De acuerdo con los diferentes usos de suelo, los suelos que son usados para ganadería intensiva presentaron el contenido más elevado de COS (debido a la suma de las áreas que se destinan para este uso), y en segundo lugar los suelos forestales con 0.73 Pg C. En este mismo trabajo se generaron estimaciones de carbono orgánico del suelo por tipo de vegetación y ecosistema con los siguientes resultados: en bosque primario y secundario: para el bosque de Oyamel se reporta en un promedio de 167 y 62 ton/ha, en el Bosque de Pino el promedio es de 68 y 84 ton/ha y en bosque de Pino –Encino un promedio 66 y 60 ton/ha respectivamente. Ordóñez (1999) reporta los resultados de otros trabajos en donde el suelo presenta 156 ton/ha en bosque de Pino, 151 para el bosque de Pino - Encino, 134 en bosque templado primario, 120 en bosque templado secundario y específicamente para la especie *Picea abies* 121 ton/ha, *Pinus pseudostrobus* 94 ton/ha. Cruz y Etchevers (2011) reportaron el COS (ton/ha) por especie de los géneros *Pinus* y *Abies*: *Pinus rudts* 180, *Pinus pseudostrobus* 110, *Pinus douglastana* 105, *Pinus pátula* 102, *Pinus hartwegii* 102, *Pinus teocote* 94, *Pinus montezumae* 76, *Pinus ayacahuite var oaxacana* 21, *Abies religiosa* 92.

Paz *et al.* (2016) realizaron una estimación multitemporal del COS en ecosistemas terrestres de México a partir de las estimaciones usadas en el Informe México de FAO - FRA (Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales, por sus siglas en inglés) para la serie V de INEGI y Serie VI del Programa Mexicano de Carbono (PMC) en el 2015. En el cual, se analizaron 2,1806 perfiles del suelo con profundidad de 0 a 30 cm, y mostró que el sector forestal presenta una tendencia a la pérdida de COS. En el estudio de Álvarez – Arteaga *et al.*, (2014), se analizó el cambio de uso de suelo en un bosque templado forestal del Estado de México para determinar la cantidad de carbono en el suelo. Los bosques conservados presentaron una acumulación de 230 ton/ha a una profundidad de un metro, el área de bosque secundario presento 117 ton/ha. En cuanto a la densidad aparente los suelos bajo uso forestal en los horizontes superficiales muestran incrementos a medida que se intensifica el manejo siendo la capa superficial del Bosque conservado la que tiene valores inferiores con respecto a los demás usos. Bojórquez *et al.*, (2015) realizaron una investigación de los cambios en las reservas de COS bajo diferentes coberturas en los primeros 20 cm de perfiles de suelos, en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, México. Las coberturas de bosque y pastizal generaron ganancias de COS, siendo el pastizal el que contiene mayor cantidad (2.65 ton/ha/año), seguido por el bosque de Encino (0.40 – 0.47

ton/ha/año) y después el bosque de Pino (0.15 – 0.38 ton/ha/año). La captura de carbono en el suelo bajo el bosque de Pino está relacionada con el tipo de hoja acicufolia, rica en lignina, que forma una hojarasca poco degradable. El bosque de Encino tiene hojas coriáceas que complican la buena descomposición.

En México se han realizado algunos estudios del contenido COS por grupo de suelo, los suelos dominantes que sustentan los bosques templados en cuanto almacén de carbono se caracterizan por ser someros, con un incipiente desarrollo, como los Regosols y Leptosols, que de forma conjunta sostienen en un 58.6 % el bosque templado. En la Faja Neovolcánica Transversal Mexicana dominan los Andosols y Luvisols (Galicía *et al.*, 2016). Existen investigaciones sobre el carbono orgánico en suelos de bosques templados de México, en suelos Inceptisols y Ultisols a 10 cm de profundidad, donde se reporta una cantidad de 35 – 116 ton/ha (Saynes *et al.*, 2012). Monreal *et al.*, (2005) reportaron que en suelos Luvisols y Acrisols a 10 cm de profundidad la concentración de carbono orgánico fue de 133 ton/ha.

Los Andosols presentan una importante acumulación de COS (310 Ton /ha), por sus características mineralógicas (Galicía *et al.*, 2016), y por la estabilización de la MOS con la formación de complejos organometálicos y órgano-minerales (Nanzyo, M., R. Dahlgren, y S. Shojiet, 1993). Estos suelos presentan después de los Histosols las mayores concentraciones de CO, por lo que tienen un alto potencial a secuestrar C, los cuales pueden ser aprovechados de una forma sostenible para la conservación del COS (Galicía *et al.*, 2016). El problema de estos suelos es que son altamente susceptibles a la erosión hídrica y eólica (Krasilnikov *et al.*, 2013). Se han reportado diferentes valores en Andosols (ton/ha), en Michoacán se reportó a 30 cm de profundidad un intervalo de 42 – 189 ton/ha (Ordoñez *et al.*, 2008), mientras que, Áviles *et al.*, (2009) obtuvieron a 15 cm de profundidad un intervalo de 66 – 85 ton/ha. Gamboa y Galicía (2011) reportaron a 10 cm de profundidad un contenido de 52 – 76 ton/ha y Valera *et al.*, (2014) estudiaron el porcentaje de C en suelos volcánicos en la Caldera de Teziutlán Puebla, que presenta vegetación de bosque de Pino (0.9499 Pg) 3.94%.

Cruz y Etchevers, (2011) analizaron el contenido de carbono orgánico en el suelo a 20 cm de profundidad en las Áreas Naturales Protegidas (ANP'S) de México con vegetación característica de bosque templado. En la especie *Abies religiosa* se reporta 92 ton/ha (**Tabla 2**).

**Tabla 2. COS (ton/ha) y otras propiedades fisicoquímicas reportadas en ecosistemas forestales de Bosques templados, dentro ANP'S en México.**

Área de estudio	Altitud msnm	Grupo de suelo	Especie vegetal con mayor abundancia	Clase textural	DAP Mg m <sup>-3</sup>	pH (1:2) H <sub>2</sub> O	COS ton/ha	Relación C/N (%)
Parque Nacional Izta – Popo	2400 – 3900	Litosol, Regosol, Andosol	<i>P. montezumae</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. patula</i> , <i>P. pseudostrobus</i> , <i>P. ayacahuite</i> , <i>P. hartwegii</i> y <i>A. religiosa</i>	CA	0.82	5.7	23 – 238	19.0
Parque Nacional Zoquiapan	2800 – 3600	Litosol, Regosol, Andosol	<i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>P. patula</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. hartwegii</i> y <i>A. religiosa</i>	C	0.80	5.7	19 – 208	13.2
Parque Nacional Nevado de Toluca	3000 – 3500	Andosol	<i>P. montezumae</i> , <i>P. hartwegii</i> y <i>A. religiosa</i>	CA	0.66	4.9	52 – 145	14.3
Mil Cumbres Mariposa Monarca	3000 – 3500	Andosol ócrico y húmico	<i>P. patula</i> , <i>P. teocote</i> , <i>P. montezumae</i> , <i>P. psedostrobus</i> , <i>A. religiosa</i> y <i>Cupressus sp.</i>	CA	0.64	5.3	37 – 160	18.7

Tabla elaborada a partir de los datos reportados por INEGI, (2009); Cruz y Etchevers, (2011). En la clase textural C: Franca y CA: Franco – arenoso.



### 2. 1. 4. 3.- Carbono orgánico de suelos forestales bajo manejo y gestión forestal.

La cantidad y flujos de COS en los bosques templados de México dependen de las condiciones ambientales locales, estos son generados por actividades humanas como el cambio de uso de suelo, el manejo forestal, los incendios, la regeneración y la sustitución de especies, es decir están fuertemente influenciado por el manejo (Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008; Galicia *et al.*, 2016). Tradicionalmente los bosques se han manejado para la explotación forestal, en México los bosques de Pino y Encino ocupan el 17% de la superficie (Mendoza-Ponce y Galicia 2010), de los cuales proviene el 76% de la producción de madera del país (De Jong *et al.*, 2007), siendo la actividad forestal una de las principales fuentes de ingreso para las comunidades locales (Bray *et al.*, 2007).

La deforestación de los bosques puede llegar a representar hasta un tercio de CO<sub>2</sub> antropogénico global por pérdida de la biomasa vegetal. Por lo mismo se han generado mercados de regulación de C que están respaldados por Organización de las Naciones Unidas (Peters – Stanley *et al.*, 2011; Thompson y Hansen, 2013). La magnitud de esta problemática destaca la importancia de un manejo adecuado de los sistemas forestales, como un enfoque alternativo para compensar las crecientes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La gestión forestal ha estado enfocada a la producción de madera, pero en esta última década los enfoques han cambiado para atender demandas de biodiversidad, conservación, mitigación del cambio climático y el secuestro del carbono en sus criterios de manejo (Dargush *et al.*, 2010; Rubio *et al.*, 2011). Se han propuesto tres maneras de contribución al secuestro de carbono orgánico en suelos forestales: 1) Crear nuevos sumideros, tanto en proyectos de reforestación como de reconversión de terrenos con vocación forestal, los cuales cada vez son más atractivos por las tendencias actuales en el mercado global del carbono, 2) Reducir la tasa de liberación de C y 3) Mejorar los depósitos ya existentes mediante sistemas de ordenación (Jandl, 2001; Penman *et al.*, 2003). En cuanto a los sistemas de ordenación forestal, la duración de la rotación y los métodos de selección de especies arbóreas afectan en las existencias de C orgánico del suelo. Por ejemplo, la extracción por el método de selección es una estrategia considerada como sostenible por no ser una práctica intensiva, sin embargo, sus efectos sobre el suelo y específicamente sobre la cantidad de carbono orgánico están poco documentados. Por lo tanto, generar información sobre el carbono orgánico del suelo en sistemas forestales es un desafío, pero es necesario para incorporar como criterio el carbono del suelo en la toma de decisiones en las prácticas de manejo de los bosques y suelo, (Álvarez y Rubio, 2016).

En cuanto a suelos con manejo forestal Acosta – Mireles, Carrillo – Anzures y Díaz (2009) determinaron el carbono del suelo a dos profundidades (0 – 20 cm y 21 – 40 cm) en rodales de

diferente composición de especies arbóreas y bajo aprovechamiento forestal en la región de Tlaxco, Tlaxcala. En el rodal con vegetación de Oyamel – Pino se encontró la mayor cantidad de carbono con 301.9 ton/ha y en el rodal de Pino 183.2 ton/ha de carbono, y en ambos rodales la mayor cantidad de carbono fue en los primeros 20 cm. Moyano, Gallardo y Charro (2004) y Monreal *et al.*, (2005) midieron en sitios forestales muestras de suelo a una profundidad de 105 cm por medio del método del reloj, este método es muy eficaz en el análisis espacial y temporal del almacén de carbono, encontraron que la concentración de carbono orgánico en los suelos de bosques de Ixtlán de Juárez varió entre 150 y 166 ton/ha a 10 cm de profundidad. Los efectos del aprovechamiento forestal sobre el carbono del suelo reportan una reducción inicial en el carbono del suelo, y posteriormente, su acumulación incrementa con el tiempo de abandono (Álvarez y Rubio, 2016). Álvarez y Rubio (2016) realizaron una investigación en la Sierra Juárez, Oaxaca, México en donde se analizó la influencia de la gestión del bosque, basado en cinco planes de manejo forestal y cuatro estrategias del uso de madera, a partir de los resultados se encontró que el contenido de carbono orgánico del suelo tuvo variaciones según el plan de manejo forestal y ligeras diferencias en cuanto a estrategias de uso de madera. Pérez – Ramírez *et al.*, (2013), realizaron un trabajo bajo diferentes condiciones forestales en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, en donde determinaron el COS en perfiles completos bajo diferentes tipos de vegetación y condiciones de manejo: conservado, aprovechado y perturbado. En este trabajo se obtuvo que los rodales de Oyamel conservado tuvieron en promedio 153 ton/ha de carbono orgánico del suelo, mientras que, los rodales de Oyamel aprovechados y perturbados tuvieron 95 y 125 ton/ha, respectivamente. El COS en bosques de Pino - Encino conservados fue de 103 ton/ha, mientras que, los aprovechados y perturbados tuvieron 39 y 12 ton/ha, respectivamente. En este estudio se determinó que tan solo el horizonte A almacena entre el 40 – 80 % del COS de los bosques conservados. Ríos (2014), realizó un trabajo en la Malinche, Tlaxcala, en el cual reportó que para suelos con vegetación forestal y en áreas deforestadas entre los años 1986 y 2000 la concentración de carbono orgánico varió entre 59.53 ton/ha y 66.11 ton/ha, respectivamente, mientras que, en las áreas deforestadas antes de 1986 el COS fue de 39 ton/ha.

#### **2. 1. 4. 4.- Carbono orgánico del suelo y la relación con las propiedades físico - químicas del suelo.**

El COS afecta a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, las que a su vez determinan su capacidad productiva, además, las propiedades del suelo están relacionadas con los servicios ecosistémicos. Los procesos que se relacionan son adiciones, pérdidas,

transformaciones, transferencia de material y energía dentro del suelo. La interrelación de las propiedades del suelo se necesita de entender en los sistemas naturales para un manejo sostenible de los sistemas y evitar la degradación de los servicios ecosistémicos.

## **Variables físicas.**

### **1.- Densidad aparente.**

La densidad aparente del suelo se define como la masa por una unidad de volumen del suelo seco, tomando en cuenta el espacio poroso (Jaramillo, 2002). Es importante ya que da información sobre la compactación de los horizontes y permite inferir en las dificultades de enraizamiento y la circulación del agua y el aire (Porta, 2003). Esta altamente relacionada con la textura del suelo, la mineralogía y la materia orgánica del suelo (Palm *et al.*, 2007). La mayoría de las bases de datos para estimaciones de COS a nivel nacional carecen de este dato (Paz *et al.*, 2016).

### **2.- Textura**

Las partículas del suelo individualizadas se distribuyen en un continuo de tamaños, las partículas con tamaños de 2 a 0.2 mm es arena gruesa, arena fina con 0.2 a 0.02 mm, limos de 0.02 a 0.002 y arcilla cuando las partículas son menores a 0.002 mm, los cuales define la textura del suelo (FAO, 2009, Porta, 2013; Soil Survey, 2017). La textura del suelo es una variable física que determina el área superficial, la densidad aparente, el tamaño, distribución y la porosidad total del suelo, por lo que está directamente relacionada con la capacidad del suelo para retener agua, la conductividad eléctrica y el estado de óxido reducción. Estas propiedades combinadas afectan al suelo en cuanto al movimiento del agua, las transformaciones químicas y biológicas, además del intercambio de gases con la atmósfera. La textura es dependiente del material parental del suelo (Jaramillo, 2002). Los suelos templados tienen reservas de minerales intemperizados de arena y fracciones de limo, considerándose como zonas que tienen un gran reservorio o capital natural de nutrientes. En campo, la textura puede ser determinada al tacto, siendo un criterio cualitativo (Soil Survey, 2017).

### **3.- Fragmentos gruesos (FG).**

Son fragmentos de roca o mineral del diámetro mayor a 2 mm. La cantidad de fragmentos gruesos se expresa en porcentaje de volumen. Esta propiedad del suelo es importante para el análisis e interpretación de análisis químicos, ya que la estimación de los fragmentos gruesos se realiza solo con la fracción fina (Porta, 2013). La cantidad de fragmentos

gruesos actúa a modo de cubierta que disminuye la evaporación, existen propuestas de aplicación de fragmentos gruesos en la superficie como un protector al impacto de las gotas de lluvia y de esta manera impedir la compactación superficial y consecuentemente la impermeabilización (Fernandez – Sanjuro, 1999). Tomar en cuenta la fracción gruesa en el suelo es muy importante, sin embargo, hasta ahora existen muy pocos trabajos en los que se relaciona los fragmentos gruesos con las propiedades fisicoquímicas del suelo, esto se debe a que a esta fracción se le considera como inerte químicamente, y solo se considera como parte diluyente de la fracción fina. Los estudios encontrados reflejan que los fragmentos gruesos se relacionan con efectos físicos como erosión, densidad aparente y propiedades hidráulicas (Fernandez – Sanjuro, 1999). En realidad, esta fracción no es inerte, sino que ciertas propiedades físico – químicas tales como porosidad, retención de agua, contenido de carbono orgánico, nitrógeno total y capacidad de intercambio catiónico, presentan valores que igualan o sobrepasan los de la fracción fina. Para el cálculo del COS es necesario el valor en porcentaje de los fragmentos gruesos muchas bases de datos en México carecen de este valor, esto genera sobreestimación del COS (Paz *et al.*, 2016).

#### **4.- Color del suelo.**

La importancia del color del suelo radica en el hecho que permite inferir otras propiedades del suelo, por ejemplo, la naturaleza de los componentes. El color del suelo puede ser uniforme, moteado, manchado o matizado (Ortiz, 2010). Sin embargo, existen colores heredados del material originario, que son llamados suelos litocromos y otros colores que han sido adquiridos durante la edafogénesis (Porta, 2013). El color se describe a través de la Tabla Munsell, que es un sistema en código, consta de 250 colores, para evitar describir el color de manera imprecisa. Se describe a través de tres parámetros: matiz, brillo y croma. Así podemos entonces saber ciertas características como, por ejemplo, por medio del matiz: los suelos con condiciones reductoras presentan colores azul – verdosos, mientras que los oxidados con matices rojizos (Porta., 2013). El croma expresa la proporción de la radiación reflejada, mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparándolo con el blanco absoluto. Es importante el brillo para el control del contenido de agua en la superficie del suelo. El croma expresa la intensidad del color espectral dominante o saturación cromática, a mayor pureza del color corresponden valores de croma más alto. En el caso de un croma negro se puede inferir que: existe materia orgánica en los horizontes superficiales, componentes ferromagnesianos, componentes litológicos negros, como los esquistos, lapilli negro. En campo, a partir del color

se puede estimar la cantidad de MOS (Porta, 2013). La determinación del color del suelo en seco y húmedo se realizará con la Carta de Color de Suelo Munsell (Munsell,2000).

### **Variables químicas.**

#### **5.- pH y delta pH.**

La medición del pH es de las más comunes e importantes en los análisis químicos de los suelos, ya que a partir de este podemos inferir reacciones químicas y biológicas del suelo. El pH es afectado por el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo como la solución, presión parcial del dióxido de carbono (NOM 021 -2000). La materia orgánica afecta la reacción del suelo (pH) debido a los grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y el contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Aguilera, 2000; Wong *et al.*, 2000). La MOS tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo. En suelos cercanos a la neutralidad el pH disminuye por aumento de la presión parcial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del suelo. El CO<sub>2</sub> de la atmósfera se combina con agua y forma ácido carbónico, que al disociarse genera H<sup>+</sup> que acidifica el suelo. Por lo que la MOS tiende a aumentar el pH cuando el suelo es ácido y a disminuirlo cuando es un suelo con pH alcalino (Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008). La MOS tiene una capacidad buffer en el pH del suelo. En suelos con COS bajos las variaciones de este generan grandes cambios en la capacidad buffer, a diferencia de los suelos con alto COS en el que las variaciones solo generan cambios marginales (Magdoff *et al.*, 1987). Uno de los métodos para determinar si un suelo es de carga variable es por medio de la determinación del delta pH. Los valores sugieren lo siguiente:

- El signo y la magnitud del  $\Delta$  pH, corresponden al signo y la magnitud de la carga superficial.
- Valores de  $\Delta$  pH mayores de  $-0.5$  indican que es suelo predominante es de carga variable.
- Valores de  $\Delta$  pH menores de  $-0.5$ , indican que el suelo es de carga permanente.

#### **6.- Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica.

#### **7.- Nitrógeno total (NT) y relación carbono nitrógeno (C/N).**

El carbono y el nitrógeno son críticos para el metabolismo microbiano de las plantas y de los herbívoros. La cantidad de estos dos elementos en el suelo depende de muchos factores climáticos y edáficos, así como de las perturbaciones naturales y las causadas por el humano (Pritchett, 1986). La disponibilidad del N se relaciona con el ciclo del nutriente en el sistema y es dependiente del tipo de vegetación y la caída de hojarasca, la cantidad de materia orgánica y la textura. (Palm *et al.*, 2007). Entonces, el carbono del suelo depende directamente de la cantidad de N. Debido a lo anterior, cuando las relaciones C/N son altas, mayores de 30:1 se limita la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de N, en suelos con una relación C/N entre 15:1 y 10:1 tienen un tiempo medio de residencia menor, es decir, durante la mineralización de los materiales carbonáceos, como el litter de la cubierta forestal, la relación C/N disminuye con el tiempo, eso es debido a la pérdida de carbono en forma gaseosa mientras que el nitrógeno permanece inmovilizado en los compuestos orgánicos. En el caso contrario, cuando hay concentraciones altas de nitrógeno este se transforma en amoníaco, impidiendo una buena actividad biológica.

#### **8.- Materia orgánica del suelo.**

La materia orgánica del suelo es un componente dinámico que ejerce una influencia dominante en muchas propiedades y procesos del suelo. En términos generales, la materia orgánica se compone de materia orgánica fresca o no humificada que está integrada en su mayoría por biomasa vegetal, y una parte en descomposición o senescente que procede de la parte aérea de la vegetación, las raíces y los restos de secreciones animales y deyecciones. Esta materia orgánica es fuente de alimento y energía para las comunidades saprófitas. También hay biomasa microbiana, que es la masa de microorganismos y microfauna. Esta masa microbiana no se encuentra unida a la fracción mineral ya que está muy poco alterada. Por otra parte, el humus está constituido por sustancias resultantes de la alteración de productos sintetizados por las plantas y los microorganismos, este presenta unión, pero es débil a la fracción mineral. De este podemos encontrar materias orgánicas heredadas como materiales orgánicos sencillos (azúcares y aminoácidos) y materiales orgánicos de elevado peso molecular (polisacáridos y proteínas). También encontramos materias orgánicas humificadas que son sustancias húmicas o humus, materiales transformados que han perdido las características químicas de sus precursores (Porta, 2003). Para suelos volcánicos existen los siguientes valores: Muy Bajo (MB) < 4, Bajo (B) 4.1 – 6.0, Medio (ME) 6.1 – 10.9, Alto (A) 11.0 – 16.0, Muy Alto (MA) > 16.1 (NOM 021 – 2000). La materia orgánica circula por diferentes compartimentos: materia orgánica viva, materia orgánica no viva y humus. La primera, acompleja los átomos, las

moléculas y al hacer la captura de carbono, estabiliza y retiene estas moléculas por tiempos cortos o largos. La materia orgánica no viva, devuelve al sistema, en forma gradual los átomos y moléculas retenidos y dentro de esa gradualidad, deja reservas en el suelo: el humus, que toma al sistema en un tiempo más largo, en condiciones de equilibrio dinámico (Sánchez, Prager, Naranjo y San Clemente, 2012).

#### **2. 1. 4. 5.- Índice de Vegetación.**

El análisis de la vegetación y la detección de sus patrones son claves para la evaluación de recursos naturales y su monitoreo, sobre todo cuando estos recursos son susceptibles al cambio climático, siendo la percepción remota una herramienta útil, eficaz, precisa y de bajo costo para la evaluación cuantitativa del estado de vegetación, de esta manera el estudio de la superficie de la tierra se apoya con la información obtenida a partir de los índices de vegetación.

Los índices de vegetación obtenidos a partir de la cobertura vegetal basados en sensores remotos son algoritmos bastante simples y eficaces para la evaluación cuantitativa y cualitativa de la cobertura vegetal (Patil y Sharma, 2013). Un aporte destacado de la teledetección espacial al estudio medioambiental es su capacidad de seguir procesos dinámicos ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva (Chuvienco, 1998). La aplicación de la teledetección es posible por la interacción de la energía electromagnética con las cubiertas terrestres que tiene un comportamiento reflectivo variable, condicionado por su estado a momento de la adquisición de la imagen.

Debido a las características multispectrales y multitemporales de los datos satelitales, resulta posible la diferenciación de tipos de cobertura vegetal. Las variaciones de las coberturas vegetales en la superficie terrestre, en determinados periodos de tiempo, son un importante indicador ambiental que ha sido empleado en diferentes ámbitos. En especial, la teledetección ha sido utilizada para evaluar dinámicas de uso de suelo y coberturas. Una de las técnicas multispectrales, es el empleo de los índices de vegetación. Los índices de vegetación son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática, entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Esperanza y Zerda, 2002), operan contrastando la intensa absorción del pigmento clorofílico en la banda roja del espectro electromagnético frente a la alta reflectancia del mesófilo de la hoja en la banda del infrarrojo cercano.

Un índice de vegetación es un parámetro cuantitativo calculado a partir de valores de reflectancia a distintas longitudes de onda, que es particularmente sensible a la cobertura

vegetal. No miden la productividad ni la disponibilidad de forraje, aunque está estrechamente relacionado.

#### 2. 1. 4. 5. 1.- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

Uno de los índices de vegetación más usado ese el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974), que sirve como un indicador que muestra el vigor de la vegetación en la superficie, la dinámica de crecimiento o fenología, la distribución espacial de la vegetación, su evolución a lo largo del tiempo, entre otras aplicaciones (Xue, J. y Su, B., 2017; Patil y Sharma, 2013). El NDVI es uno de los índices de vegetación más fáciles de calcular, y también, más fáciles de interpretar, aunque esta última debe tomar en cuenta los estados fenológicos y de desarrollo anual para para distinguir las oscilaciones naturales de la vegetación de los cambios en la distribución temporal y espacial causados por otros factores, por ejemplo, las condiciones climáticas, entre otros. En términos ecológicos, el NDVI es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (Monteith, 1981), la productividad primaria (Paruelo *et al.*, 1997), y es una variable integradora del funcionamiento del ecosistema (Wall y Virginia, 2000). Se ha utilizado en estudios relacionados a comportamiento de cultivos, así como de vegetaciones boscosas. El valor de NDVI permite estimar el grado de afectación de áreas deforestadas (Oroza, Linares y Reyes, 2016).

La fórmula del NDVI es la siguiente:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Donde:

**NIR** = reflectividad en el infrarrojo cercano (0.73-1.10  $\mu\text{m}$ )

**RED** = reflectividad en rojo (0.58-0.68  $\mu\text{m}$ )

El rango de valores de la reflectancia espectral se encuentra entre el 0 y el 1; ya que tanto la reflectividad del infrarrojo cercano como la del rojo, son cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. Por lo que el rango del NDVI varía en su valor entre - 1 y 1 (**Tabla 3**).



**Tabla 3. Valores de reflectancia de NDVI.**

<b>Cobertura</b>	<b>Valor</b>
Agua	Negativos
Nubes	cercano al 0
Suelo desnudo	cercano al 0
Áreas estériles de roca, arena o nieve.	positivos bajos (0.1 o menos)
Arbustos o pastizales.	positivos moderados (0,2 a 0,3)
Vegetación densa, bosques templados y tropicales.	positivos altos (0,6 a 0,8)

Es importante el uso de los sensores remotos para obtener información del estado actual de la vegetación y su relación con el carbono orgánico del suelo a través de modelos de regresión lineal (Oroza, Linares y Reyes, 2016; Linares *et al.*, 2017).

#### **2. 1. 4. 6.- Servicios ecosistémicos y su percepción**

Los servicios ecosistémicos involucran una trama compleja de interacciones, una de estas interacciones esta entre la esfera biofísica, que es en donde estos servicios se generan y en la esfera social, en donde los servicios ecosistémicos se capturan, usan o aprovechan (Verón *et al.*, 2011). Mediante esta relación del humano con el ambiente se establece una relación de complejidad (García, 2006), esta impacta la calidad de vida directamente, entendida como bienestar humano el contar con materiales básicos para tener una vida digna, salud, buenas relaciones sociales, seguridad y libertad de acción (Carpenter *et al.*, 2008). El paradigma actual entiende a los servicios ecosistémicos como una valoración ambiental, y no meramente económica desde la visión de las ciencias ambientales (Sánchez, Silva y Pérez, 2015). La complejidad inherente del estudio de los servicios ecosistémicos deriva de la diversidad de percepciones, de la trama de interacciones entre los componentes biofísicos y sociales, y de diferentes escalas espaciales y temporales en las cuales se dan estas interacciones. La multiplicidad de percepciones de un servicio ecosistémico se puede ilustrar al tomar como, por ejemplo, los servicios de regulación del agua son un insumo intermedio para el servicio final de provisión de agua limpia. Sin embargo, si uno está interesado en el servicio final de la producción peces. Entonces, el suministro de agua pasaría de ser un servicio final a uno intermedio (Fisher B. y Turner, R., 2007), es decir, si el servicio es considerado final o

intermedio cambiará dependiendo de qué y cómo se está valorando, monitoreando o midiendo, así como quién son los beneficiarios (Boyd, 2007).

Según Verón et al., (2011) existen cuatro aspectos que denotan la complejidad de los servicios ecosistémicos: 1) la multiplicidad, es decir lo que parece un servicio en realidad son varios, según qué sector de la sociedad los perciba, 2) las interacciones existentes, las cuales son sinergias y compromisos entre distinta naturaleza, 3) la no linealidad, que es la prestación de un servicio que puede caer en forma abrupta e irreversible cuando un cambio ecológico gradual atraviesa un determinado umbral y 4) los desajustes de escala temporal y espacial, que tiene que ver con el deterioro en el nivel actual de captura de un servicio en un lugar, el cual es resultado de acciones y cambios ocurridos en el pasado y/o en lugares distantes o superficiales más grandes.

La gestión del territorio debe establecer un flujo de información y de decisiones alimentado por su contacto con el sistema ecológico y social, por ejemplo, las decisiones de política forestal, principalmente para saber ¿Qué acciones de corto, mediano y largo plazo adoptar?, desde dos grandes vías: 1) tomando en cuenta la percepción de la sociedad, 2) según la evidencia científica y técnica sobre el funcionamiento del ecosistema. La primera vía permite identificar conflictos según la percepción de la sociedad y sus diferentes actores y, por lo tanto, dar prioridad a los servicios ecosistémicos sobre los cuales hay que tomar prontas decisiones. Por otra parte, en la segunda vía pueden darse situaciones en las que el conflicto que perciben los actores sociales no tenga fundamentos en el sistema ecológico desde una perspectiva científica o técnica, por cual debe hacerse saber (Verón *et al.*, 2011).

Los ecosistemas forestales brindan una serie de servicios ambientales sumamente importantes para el sostén de las poblaciones urbanas y rurales. Los bosques son importantes productores del oxígeno que respiramos, son por lo tanto reguladores de la calidad del aire y disminuyen el calentamiento global. También nos proveen de agua, la cual es captada por la atmósfera en la lluvia o al captar la humedad del ambiente.

En el Marco de los Servicios Ecosistémicos de los Suelos (Dominati *et al.*, 2010) adaptados de (MEA, 2005).

- **Servicios de abastecimiento:** son los productos que las personas obtienen de los ecosistemas como provisión de alimentos y agua dulce, madera, fibras, productos bioquímicos, leña, materia orgánica, recursos genéticos, soporte físico de plantas y

animales, y base física para el desarrollo de la infraestructura humana (García et al., 2016).

- **Servicios de regulación:** son los beneficios que las personas obtienen de la regulación de los procesos ecosistémicos, incluyendo la calidad del aire, regulación del clima, mitigación de inundaciones, almacenamiento de carbono y regulación de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub>, filtración de nutrientes y contaminantes, desintoxicación y reciclado de residuos, regulación y purificación del agua, polinización y control biológico de plagas y enfermedades.
- **Servicios culturales:** son los beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas a través enriquecimiento espiritual, creencias religiosas, recreación y ecoturismo, experiencias estéticas, inspiradoras, educativas, sentido del lugar y herencia cultural (Carpenter *et al.*, 2008).

Las tres primeras categorías de servicios afectan directamente a las personas, mientras que los servicios de apoyo están ahí para mantener los otros servicios.

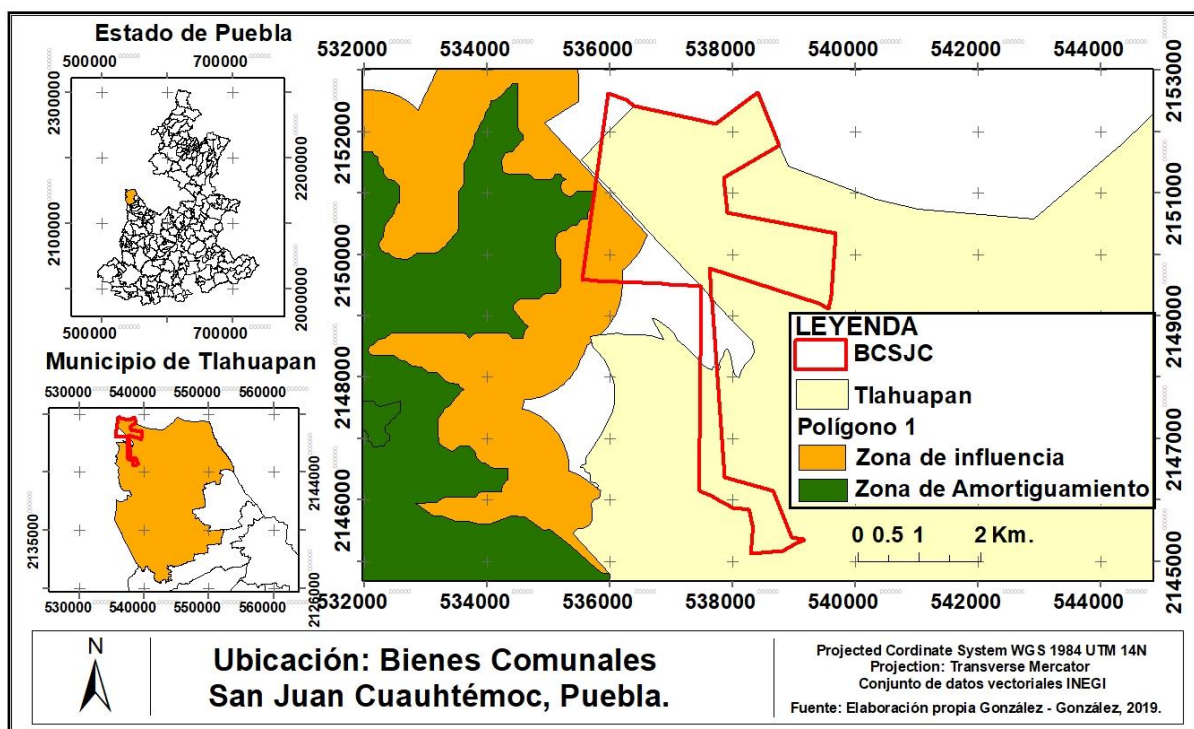
- **Procesos de soporte:** son las funciones necesarias para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, incluyendo la formación del suelo, la fotosíntesis, la producción primaria, alimentos, fibra, ciclos de nutrientes, ciclo de agua, recursos genéticos, bioquímicos, medicinas naturales, productos farmacéuticos, y ornamentales.

### **CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

Los bienes comunales San Juan Cuauhtémoc pertenecen a la localidad de San Juan Cuauhtémoc del municipio de Tlahuapan, Puebla (**Figura 2**). El municipio colinda al norte con el estado de Tlaxcala y los municipios de San Matías Tlalancaleca; al Sur con San Salvador el Verde y el Estado de México; al Oeste con el Estado de México (INEGI, 2010). Localizado entre los paralelos 19° 18' 12" y 19° 29' 24" N y meridianos 98° 37' 48" y 98° 39' 25" O con altitud de 2780 m.s.n.m. (CONAPO, 2005). En la actualidad los predios comunales comprenden una superficie de 1,038.61 hectáreas (Márquez et al., 2009) y una parte corresponde a la zona de influencia del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl dentro de su Ordenamiento Ecológico Territorial (OET), se localiza dentro del polígono 1 "Tlálloc – Telapón" de la Subzona de preservación, en la **Figura 2**. se representa el área de influencia en color amarillo y el área de amortiguamiento en color verde.

En la actualidad, las áreas de uso común que están registradas bajo propiedad de los comuneros de San Juan Cuauhtémoc son 1,038.61 ha. Los poseedores de los terrenos comunitarios son

130 personas, que gestionan de manera independiente los predios comunales a los terrenos ejidales. La actividad forestal es el principal uso de la tierra, debido a la altura y temperatura, los terrenos no son aptos para la agricultura (Márquez *et al.*, 2009), por lo que, el aprovechamiento de este recurso forestal, y las actividades como reforestación, brechas contra fuegos, podas, tinas ciegas y limpieza del bosque constituyen la principal fuente de ingresos, sin embargo, para complementar los ingresos, los comuneros rentan parcelas para sembrar maíz, haba u hortalizas (Márquez *et al.*, 2009). Es importante mencionar que en este municipio se tiene una importante cosmovisión, Tlahuapan se considera como un pueblo prehispánico, en el que su nombre está en Náhuatl y significa tierra de encinas (INEGI, 2010).



**Figura 2. Ubicación de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan, Puebla. Fuente. Elaboración propia.**

### 3. 1.- Climatología.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García (García, 1983) para la República Mexicana indica que el subtipo climático presente en el municipio de Tlahuapan es templado subhúmedo con lluvias en verano (61.02%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (38.98%) (INEGI, 2010), siendo el más húmedo de los subhúmedos, con una temporada lluviosa marcada en el verano y otra en invierno y cuyo cociente entre la precipitación y la temperatura es mayor de 55 por ciento. Son comunes los frentes fríos y la invasión de masas de aire polar continental en invierno y en verano hay influencia de la zona

tropical (SEMARNAT y CONANP, 2013). La temperatura media anual es de 14.06 grados centígrados, que oscila entre los 8 y 16 grados centígrados en promedio a lo largo del año, el verano se caracteriza por ser fresco y largo. La temperatura media del mes más caliente es de 11.6 ° C y la oscilación térmica es de 4.7 %. El régimen de lluvia se caracteriza por un rango de precipitación entre los 900 a 1100 mm al año y la precipitación media anual es de 970.6 milímetros (SEMARNAT y CONANP, 2013).

Se consultaron los datos normales de la página oficial del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) del periodo de 1951 a 2010, los cuales representa los valores promedios de precipitación y temperatura, obtenidos por las estaciones climatológicas “Santa Rita Tlahuapan”, “Nanacamilpa”, “Río Frío” y “Sombrerito”, que pertenecen a la Red de Estaciones Climatológicas de CONAGUA – DGE (Tabla 4). Estas se eligieron que fueron las más cercanas a la zona de estudio para realizar los climogramas correspondientes (Imagen 1).

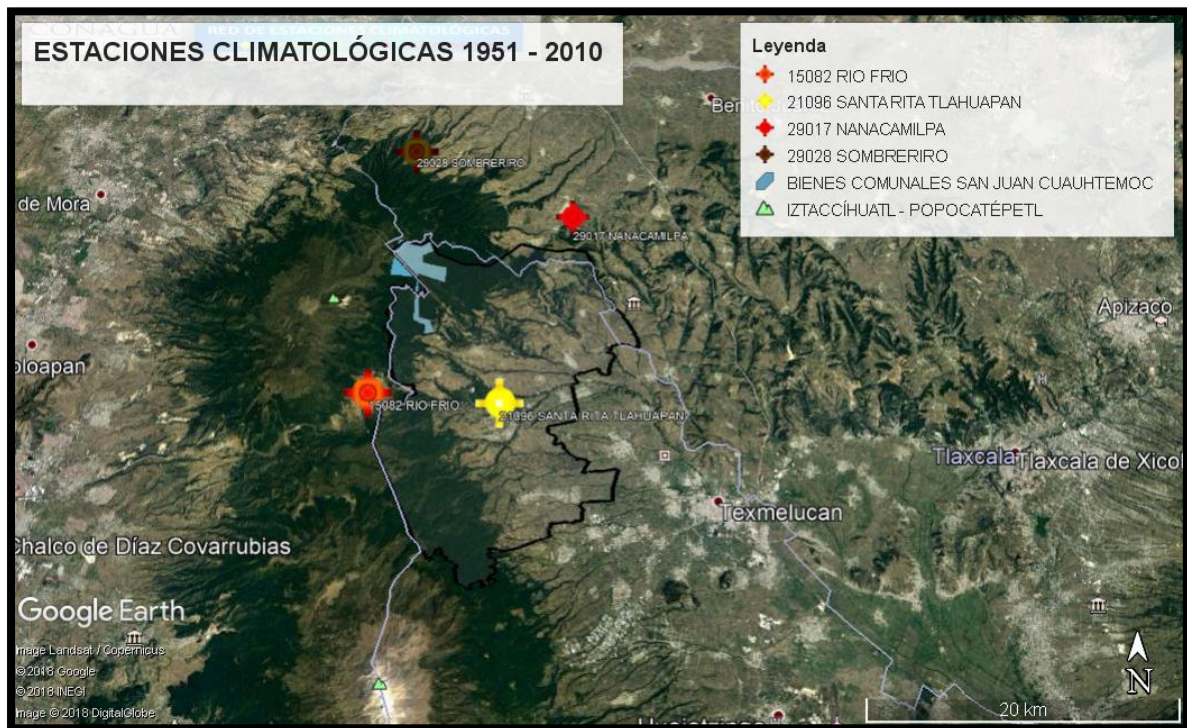


Imagen 1. Localización de las estaciones climatológicas “Santa Rita Tlahuapan”, “Nanacamilpa”, “Río Frío” y “Sombrerito”. Fuente. Google earth.

Tabla 4. Datos de estaciones climatológicas.

Nombre estación	Núm. Estación	Coordenadas	
		X	Y

Santa Rita Tlahuapan	21096	543965	2139209
Nanacamilpa	29017	548977	2154371
Río Frío	15082	534690	2139864
Sombreroiro	29028	536718	2159875

Fuente. SMN (2018).

Se utilizó el factor de corrección (Thornthwaite, 1972) por latitud (Tabla 5) debido a los valores diferentes de iluminación que se presentan por la diferencia de latitudes influye en la evapotranspiración.

Tabla 5. Datos del factor de corrección por altitud.

Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
0.95	0.9	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1	0.93	0.94

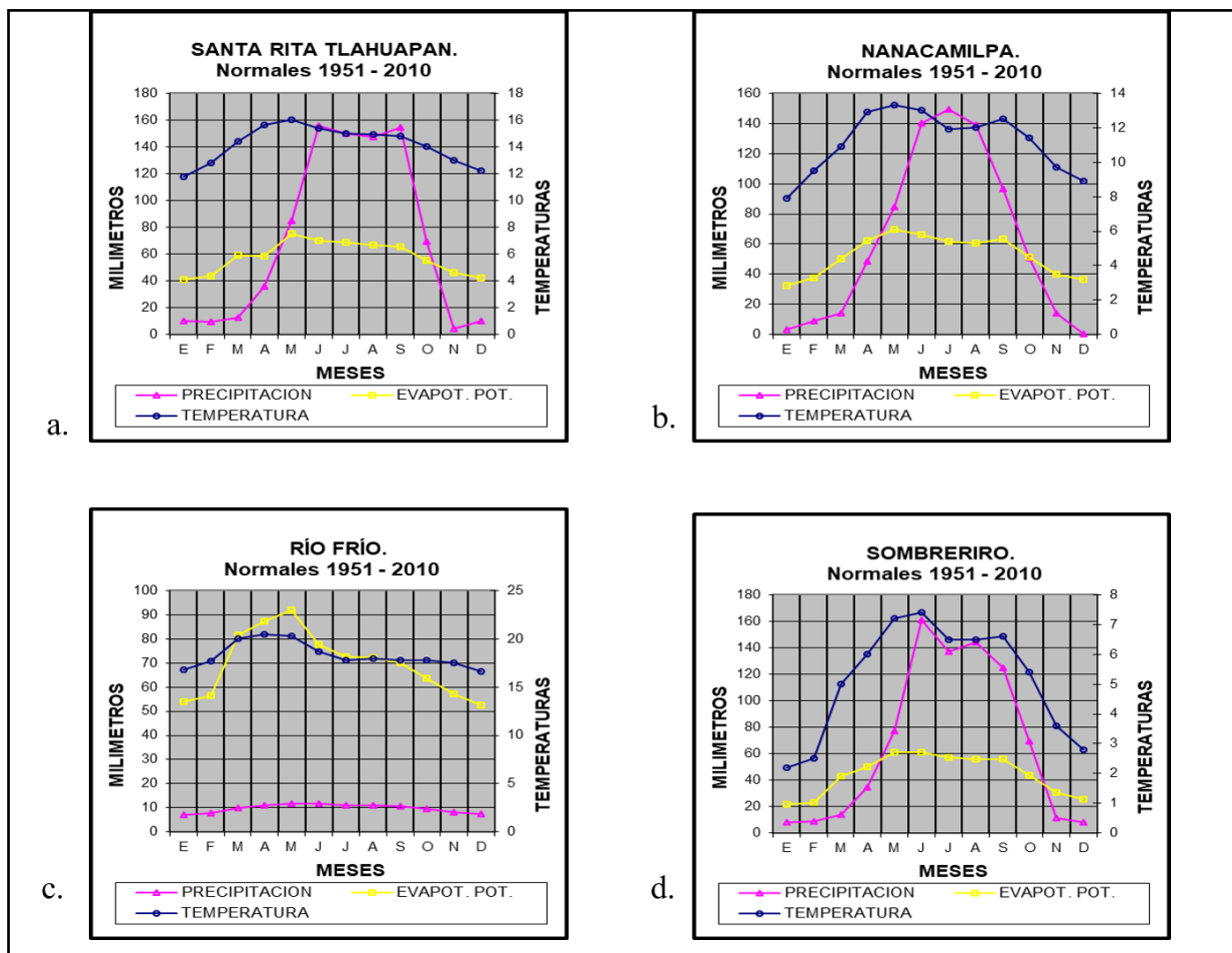
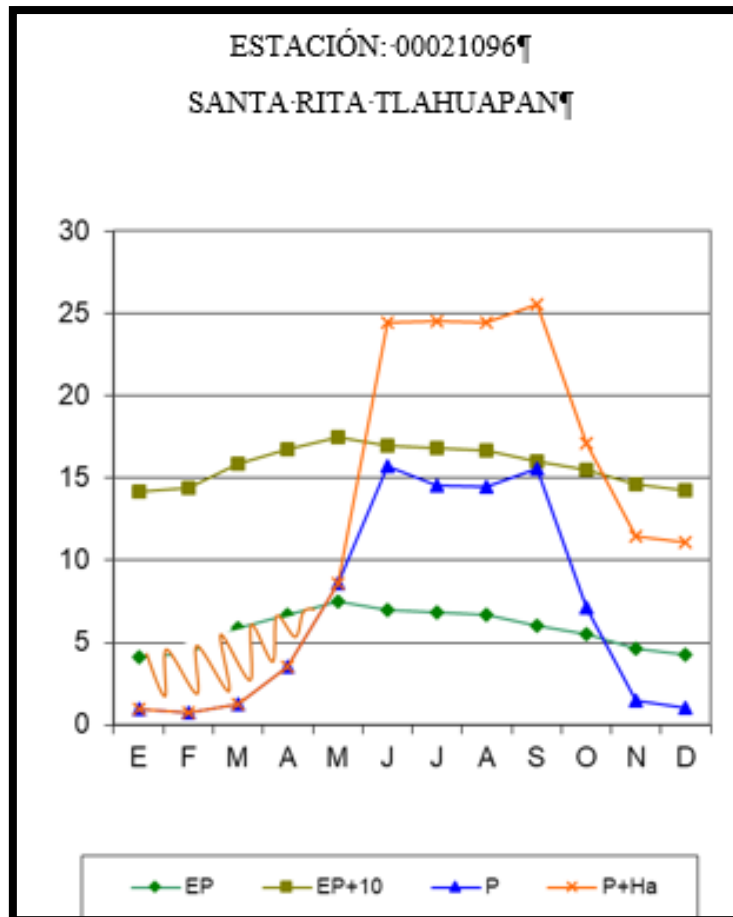


Figura 3. Climogramas estaciones climatológicas “Santa Rita Tlahuapan”, “Nanacamilpa”, “Río Frío” y “Sombreroiro”. Fuente. Elaboración propia con base a las Normales Climatológicas (SMN).



En la **Figura 4**, se puede observar que los meses con mayor precipitación pluvial normal son junio, julio y agosto, y los meses con mayor temperatura media son abril, mayo y junio. Elaboración propia. González - González, 2019.



**Figura 4. Climograma complementario. Fuente. Elaboración propia. EP: Evapotranspiración, EP + 10: P: precipitación, P + Ha.**

### 3. 2.- Fisiografía.

De acuerdo con las características topográficas, geológicas, orográficas e hidrológicas del área de estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Cinturón Volcánico Transversal (CVT; SGM, 2017). La expresión fisiográfica de CVT se caracteriza por la gran variabilidad de estructuras volcánica tales como conos cineríticos, domos de lava, maars, volcanes escudo, volcanes compuestos, calderas y algunos cuerpos intrusivos (Aguirre-Díaz *et al.*, 1997). En esta provincia volcánica de edad cenozoica se concentra una parte importante de la población y de la actividad económica del país, adicionalmente su formación ha tenido un impacto importante en la evolución del clima y de la biodiversidad de México (Ferrari, 2014).

El municipio de Tlahuapan se ubica en el sistema montañoso de la Sierra Nevada que forma parte de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, al poniente los cerros “Tlálloc” y “Telapón”. También colinda con el Parque Nacional Izta – Popo – Zoquiapan y Anexos (**Figura 1**). El relieve del lugar se caracteriza por ser una meseta en la parte centro norte, rodeada de sierras y cañadas (Márquez *et al.*, 2009).

### 3. 3.- Edafología.

De acuerdo con el conjunto de datos edafológicos escala 1:250,000 serie II (INEGI, 2006), en el área existen siete clases taxonómicas de suelos: Andosol (25%), Cambisol (25.94 %), Umbrisol (15.31 %), Leptosol (10.64 %), Arenosol (8.87 %), Durisol (8.80 %) y Phaeozem (0.17 %), los cuales se describen a continuación:

- **Andosols:** suelos jóvenes desarrollados principalmente a partir de materiales con vidrios volcánicos (del japonés *an*, oscuro y *do*, suelo). Muchos Andosols se derivan de ceniza volcánica, piedras pómez u otro material volcánico. La meteorización rápida de los vidrios da lugar a la formación de minerales con bajo grado de ordenamiento, como alófanos e imogolitas (Silandic Andosols) o de complejos de sustancias orgánicas con aluminio (Aluandic Andosols). Ambos tienen óxidos de hierro como la ferrihidrita. Los Andosols aparecen en regiones volcánicas en todo el mundo; sin embargo, los Aluandic Andosols también pueden desarrollarse en otros materiales ricos en silicatos bajo meteorización ácida, en climas húmedos y perhúmedos.
- **Cambisols:** suelos moderadamente desarrollados, con al menos un horizonte subsuperficial incipiente (del galolantino, *cambiare*, cambiar). Los Cambisols muestran evidencias de formación de suelo a través de variaciones en el color, remoción de carbonatos o yeso o formación de minerales de arcilla. Estos suelos cubren grandes superficies en una amplia gama de paisajes (tanto llanos como montañosos), climas y tipos de vegetación.
- **Umbrisols:** suelos ácidos con un horizonte mineral superficial oscuro y rico en materia orgánica (del latín *umbra*, sombra). Los Umbrisols tienen un horizonte mineral superficial rico en materia orgánica, pero con un contenido bajo en nutrientes. Suelen estar asociados a material parental de naturaleza ácida y/o áreas en las que se producen fuertes lluvias. En LAC, los Umbrisols son comunes en la cordillera de los Andes de Colombia, Ecuador y, en menor proporción, en Venezuela, Bolivia y Perú. También se dan en Brasil (p. ej. en la Serra do Mar).



- **Leptosols:** Suelos poco profundos sobre roca dura continua o con alto contenido de gravas y piedras (del griego *Leptós*, que significa delgado), tienen poco contenido en tierra fina, por lo que su capacidad para almacenar agua es mínima. Se pueden distinguir dos tipos: los suelos poco profundos que recubren una masa rocosa y los suelos altamente pedregosos, que, localmente, pueden ser profundos. Están muy extendidos por todo el mundo y se encuentran principalmente en las regiones montañosas, los desiertos y en zonas donde el suelo se ha erosionado. En estos suelos suelen desarrollarse actividades como el pastoreo extensivo o para la repoblación forestal con el objetivo de recuperar suelos.
- **Phaeozems:** Suelos ligeramente ácidos o neutros con un horizonte mineral superficial grueso y oscuro (del griego *phaiós*, oscuro y del ruso, *zemlja*, tierra), se caracterizan por un tener un horizonte mineral superficial oscuro, rico en humus (WRB, 2015). Se encuentran principalmente en las regiones templadas subhúmedas. Su humedad relativamente elevada impide que se acumulen los carbonatos secundarios o sales solubles. Debido al alto contenido en humus y iones de calcio que se unen a las partículas del suelo, los Phaeozem presentan una estructura muy permeable y bien agregada. Son suelos fértiles que se encuentran en las pampas sudamericanas o bosques de zonas elevadas del trópico (Gardi *et al.*, 2014).
- **Durisols:** Suelos con acumulación de sílice secundaria (del latín *durus*, duro) Los Durisols están principalmente asociados con superficies antiguas en ambientes áridos y semiáridos y acomodan suelos poco profundos que contienen sílice (SiO<sub>2</sub>) secundaria dentro de 100 cm de la superficie del suelo. La sílice puede formar nódulos independientes endurecidos o una dura capa continua.
- **Arenosols:** Suelos arenosos de fácil erosión, bajo contenido en agua disponible y baja capacidad de retención de nutrientes (del latín, arena, arena). Los Arenosols son de los suelos más extensos a nivel mundial. Se pueden distinguir dos grupos según su génesis: depósitos de arenas recientes (desiertos, playas o dunas) y arenas cuarzosas que se acumulan residualmente por la intemperización in situ avanzada de los otros minerales, generalmente bajo clima tropical húmedo. En Latinoamérica, estos suelos son especialmente aptos para el cultivo de coco, mandioca y maíz. Si se ubican en regiones semiáridas, tan sólo toleran un pastoreo muy extensivo de escaso rendimiento.

### **3. 4.- Geología.**

La caracterización geológica se realizó con base a la información del Servicio Geológico Mexicano (SGM) y del conjunto de datos geológicos escala 1:250,000 de INEGI. La geología de área de estudio está constituida por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, representadas por la formación Tlálloc, que es un conjunto de derrames riódacíticos, y que están expuestos en la Sierra de Río Frío, estos derrames están intercalados con sedimentos y materiales extrusivos como: cenizas, tobas y piedra pomex, de la Formación Tarango. Se considera que estas formaciones geológicas se formaron en el Mioceno tardío-Pleistoceno temprano (SGM, 2002).

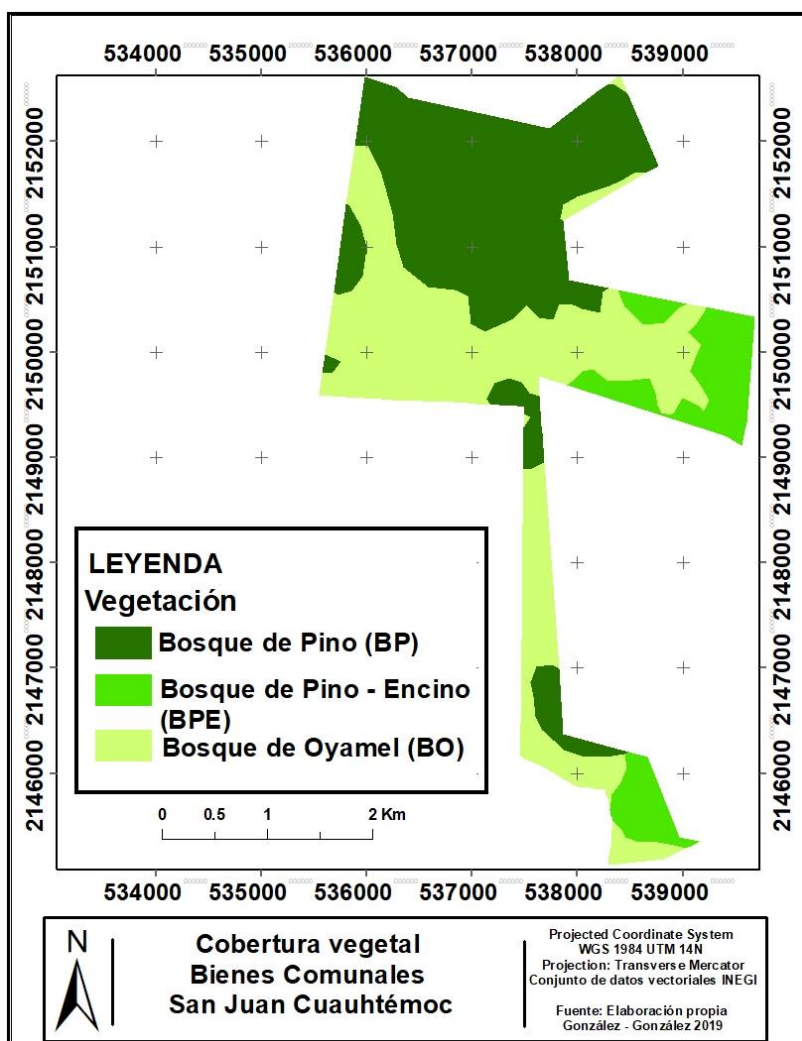
### **3. 5.- Hidrología.**

El municipio de San Juan Cuauhtémoc se encuentra dentro de la cuenca del Alto Balsas que pertenece, a la Región Hidrológica del Balsas, la cual está compuesta de 15 cuencas, y entre estas, la cuenca del Alto Atoyac es donde el río Atoyac se localiza. La cuenca del Alto Atoyac tiene un área de contribución de 4135.52 km<sup>2</sup> e incluye parte de los estados de Puebla (22 municipios) y Tlaxcala (47 municipios) (DOF, 2010), se extiende desde donde nace el drenaje del río Atoyac hasta la presa "Manuel Ávila Camacho" (Valsequillo).

Los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc forma parte de la microcuenca "el Colotzi", que se distribuye dentro de la cuenca del Alto Atoyac. Los ríos que atraviesan la microcuenca, por lo general de oeste a este, son formadores o afluentes del Atoyac, destacando: Las Rositas, Chiautonco, Río Grande y Atoyac (Márquez et al, 2009).

### **3. 6.- Vegetación.**

En los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc se distribuyen comunidades arbóreas y arbustivas características de clima templado frío, en donde predomina el bosque de coníferas y praderas de alta montaña con zonas de transición de acuerdo con su distribución altitudinal. Las especies más comunes son: *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus* y *Abies religiosa*. También se encuentran algunas especies de los géneros *Quercus*, *Arbutus*, *Alnus*, *Salix*, *Buddleia* y en el estrato herbáceo abunda la vegetación de zacatonal y pastizal alpino a mayores alturas (SEMARNAT y CONANP, 2013) (**Figura 5**). De acuerdo con el conjunto de datos vectoriales de vegetación y uso de suelo escala 1:250 000 serie IV (INEGI, 2013), en el área existen tres tipos de cobertura vegetal: Bosque de Pino (BP), Bosque de Pino - Encino (BPE) y Bosque de Oyamel (BO).



**Figura 5.** Mapa de vegetación de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc. Fuente. Elaboración propia.

### 3. 7.- Uso de suelo.

El 88.05 % de la superficie de los Bienes comunales de San Juan Cuauhtémoc presenta bosque denso, 5.79 % bosque abierto, 2. 93 % pastizal de regeneración, 0.17 % pastizal, 0.06 % uso de suelo agrícola con siembra de temporal de maíz y frijol, 2.98% brechas de conducción de línea eléctrica y 0.02 % de uso truchero (**Tabla 6**) (Márquez *et al.*, 2009).

**Tabla 6.** Tipo de uso de suelo y cobertura en 2006. Bienes comunales de San Juan Cuauhtémoc.

Uso de suelo y Cobertura	Superficie (Hectáreas)	%
Bosque denso	913.818	88.05
Bosque abierto	60.109	5.79
Pastizal + regeneración	30.430	2.93
Pastizal	1.792	0.17
Agrícola	0.648	0.06

Brechas de líneas de conducción eléctrica	30.897	2.98
Truchero	0.170	0.02
Total	1,037.864	100.00

Fuente. Tomado de Márquez *et al.*, (2009).

### 3. 8.- Demografía

El municipio de Tlahuapan es de ámbito rural (CONAPO, 2010). Tiene una población de 36,518 habitantes en total de los cuales 17,975 son hombres y 18,543 son mujeres (SEDESOL, 2010). El grado de marginación es medio según SEDESOL (2010). El 78.6 % de la población presenta pobreza y el 17.9 % pobreza extrema (CONAPO, 2010). En la localidad de San Juan Cuauhtémoc hay 1,961 habitantes de los cuales 976 son hombres y 985 mujeres (SEDESOL, 2010). Márquez *et al.* (2009) determinaron para los años 1990 – 2000 que la localidad de San Juan Cuauhtémoc tuvo una tasa de 1.53 % de crecimiento demográfico, y para los años 2000 y 2005 las tasa se redujo a 0.7 %. El grado de marginación es alto con un índice de marginación de – 0.49 (**Tabla 6**). La localidad se encuentra en el Programa de Desarrollo de Zonas Prioritarias (PDZP), del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo (CONEVAL), el cual tiene como principal objetivo la contribución de cerrar las brechas de desigualdad regional por medio de la mejora de infraestructura social básica, servicios y la calidad de vivienda en sitios del país que requieran atención prioritaria por condiciones de marginación, pobreza y exclusión social (SEDESOL, 2010). Márquez *et al.*, (2009) reportan que la tasa de crecimiento ha disminuido, y este hecho, se refleja en el abandono de parcelas, casas deshabitadas y muy pocos comuneros en las asambleas. Esto significa que existe una influencia positiva a los recursos naturales, pero la situación expresa la crisis rural. Los hombres en la edad de trabajar migran buscando empleo u otras oportunidades, incluso de preparación o educación (preparatorias, escuelas técnicas, universidad).

**Tabla 7. Indicadores del grado de marginación de la Localidad San Juan Cuauhtémoc, municipio de Tlahuapan, Puebla.**

<b>indicadores del grado de Marginación</b>		
<b>Localidad – San Juan Cuauhtémoc</b>		
	2005	2010
Población total	2,097	1,961
% Población de 15 años o más analfabeta	14.21	13.74
% Población de 15 años o más sin primaria completa	41.74	37.82
% Viviendas particulares habitadas sin excusado	8.35	2.12
% Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	3.25	0.71

% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada	2.10	1.88
% Ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	45.48	1.46
% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	27.17	13.18
% Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	67.75	55.06
Índice de marginación	-0.527	-0.497
Grado de marginación	Alto	Alto
Lugar que ocupa en el contexto nacional		67,841

Fuente. Estimaciones de CONAPO, índices de marginación 2005; CONAPO, (2010).

### 3. 9.- Plan anual de cortas

Los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc es un predio forestal con certificado internacional Forest Stewardship Council FSC (por sus siglas en ingles), cuentan con una superficie forestal de 921 hectáreas y con permiso de la Secretaría de Manejo de Recursos Naturales (SEMARNAT) para el aprovechamiento de una superficie de 715 hectáreas bajo un Plan Anual de Cortas (PAC), dividido en diez anualidades, iniciando la primera anualidad en agosto del 2012 (**Figura 6**). El volumen promedio autorizado para aprovechamiento forestal es de 5,194 m<sup>3</sup> en volumen total, es decir, madera en rollo incluyendo ramas y desperdicios (**Imagen 5**). La mayor parte del ingreso es usado para cubrir gastos de corte de madera, otra parte importante se utiliza en la reinversión de trabajos de cultivo forestal, vigilancia, pago de trabajadores y asistencia técnica, tanto para el bosque, como para las actividades de ecoturismo y el truchero. Además, el manejo forestal se complementa con el proyecto ecoturístico, el cual consiste en un restaurante, un truchero y dos cabañas (**Imagen 2 – 4**).

El PAC se estableció de acuerdo con el Método Mexicano de Ordenación de Bosques de Masas Irregulares (MMOBI). El MMOBI es un sistema silvícola, el cual se centra en una corta selectiva, una intensidad de corta variable según incremente el volumen de cada predio o rodal y un ciclo de corta fijo. Se respeta la intensidad máxima de corta de 30 – 40 % de las existencias y se seleccionan arboles con más de 45 cm de diámetro. El principal objetivo de este método silvícola es modificar las características de las masas forestales para obtener una composición balanceada de edades en rodales (unidad mínima de manejo) con tantas clases de edades de árboles como sea posible y conservando la espesura de bosque. También busca mejorar el estado del bosque al eliminar todo árbol dañado, defectuoso, seco, enfermo, plagado y dominados para tener un saneamiento natural del recurso para buscar masas forestales sanas y regeneración natural en los espacios abiertos por corta. Los aprovechamientos forestales se realizan en un programa de 10 años el cual tiene una intervención de corta anual, se aplica el

tratamiento de selección individual o grupal de organismos que hayan alcanzado las características de turno para ser aprovechados. En el caso de los BCSJC, el predio se encuentra dividido en rodales, que son áreas de bosque formadas por árboles de aproximadamente la misma edad, o de diferentes edades tienen factores o características comunes como pendiente, exposición al sol y tipo de suelo. Los rodales están divididos a su vez en subrodales ya que comparten características distintivas dentro del área, como las especies de su distribución. La forma de corta es por el método de selección. Especies maderables: *Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii*, *Cupressus lindleyi*, *Abies religiosa*, *Fraxinus udhei*. Especies maderables para carbón: *Quercus affinis*, *Quercus crassipi*, *Quercus eugeniifolia*, *Quercus laurina*, *Quercus sartorio*, *Quercus xalapensis*, *Arbutus xalapensis*.

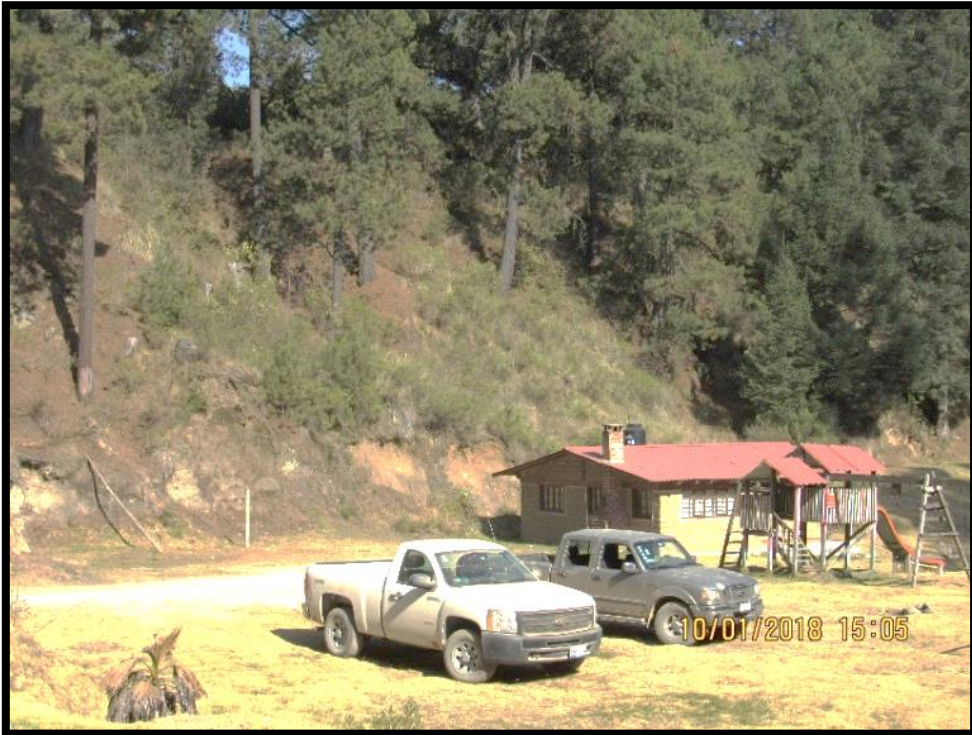


**Imagen 2. Truchera en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc. Fuente. González – González, 2019.**



**Imagen 3.** Restaurante de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc. **Fuente.** González – González, 2019.





**Imagen 4. Cabañas de los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc. Fuente. González – González, 2019.**



**Imagen 5. Rollo de madera comercial. Fuente. González – González, 2019.**



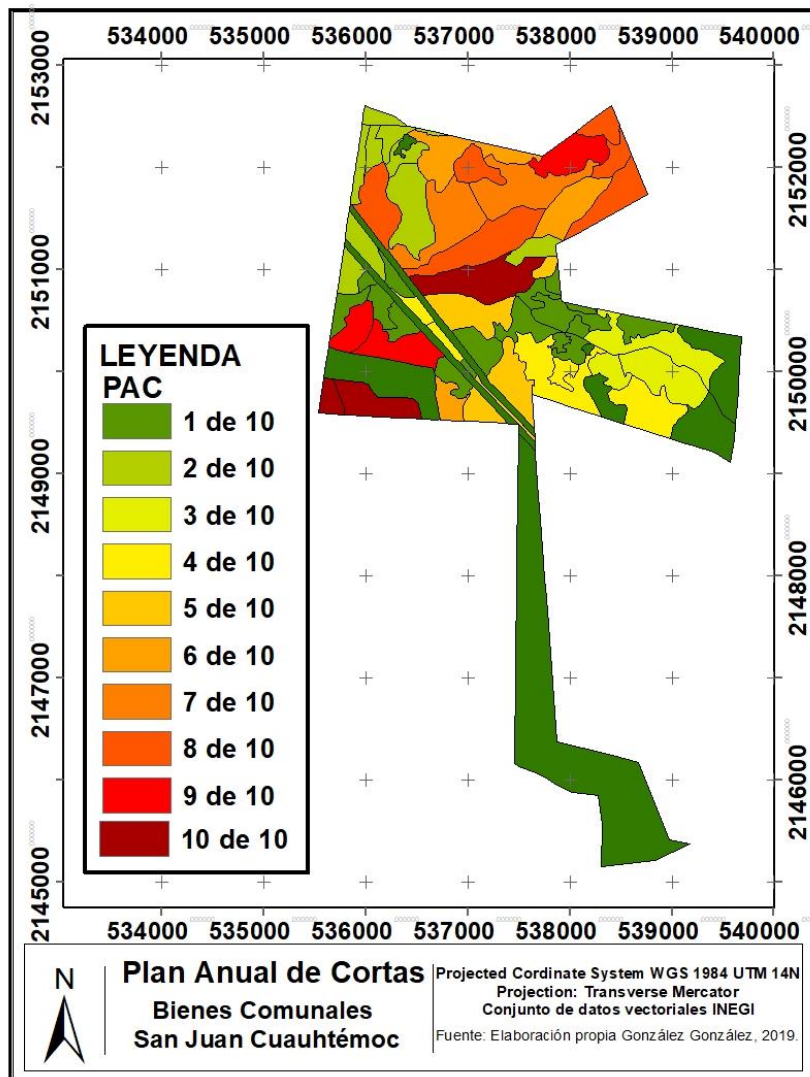


Figura 6. Plan Anual de Cortas del ciclo 2012 – 2022 en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.

## CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

### 4. 1.- Etapa de gabinete.

#### 4. 1. 1.- Recopilación de información y su análisis.

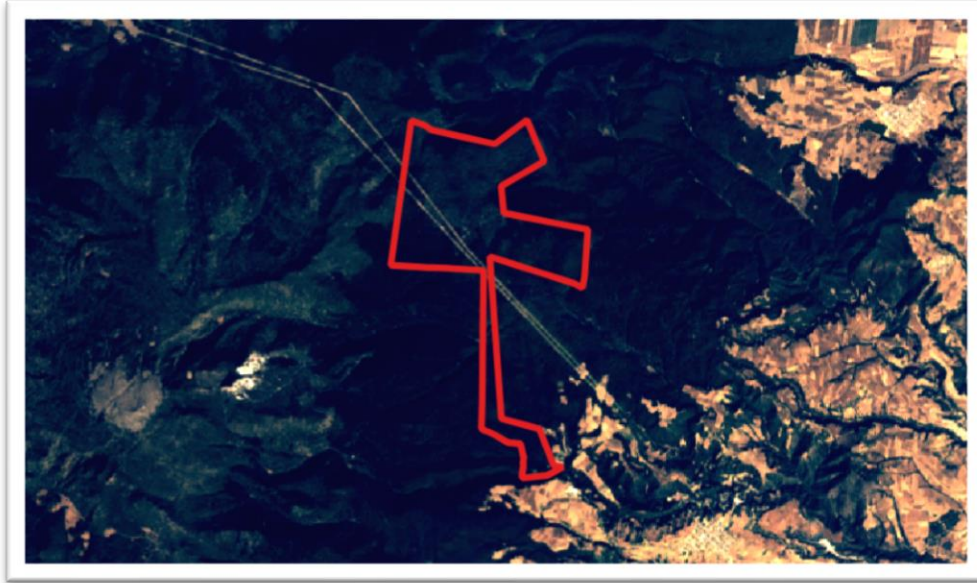
Se recopiló literatura de interés como artículos de investigación de revistas especializadas y literatura gris como tesis del grado de maestría y doctorado, informes de gobierno públicos y/o gubernamentales para argumentar la pertinencia de este trabajo de investigación y sus objetivos. Se consultaron los sitios oficiales de SEMARNAT y CONANP para la descripción fisiográfica del área de estudio y los sitios oficiales de SEDESOL, CONEVAL y CONAPO para conocer las características socioeconómicas del área de estudio, la información que se obtuvo fue grado de marginación de la población. Se utilizaron las cartas temáticas de datos vectoriales de INEGI descargadas del sitio oficial [www.inegi.com.mx](http://www.inegi.com.mx) en

formato digital; Conjunto de datos Topográficos y conjunto de datos de vegetación y uso de suelo, escala 1:250,000, y por último se descargó la carta Geológica del Servicio Geológico Mexicano, escala. 1:250,000. Se consultaron los datos normales de precipitación y temperatura de la página oficial *www.smn.com.mx* del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) del periodo de 1951 a 2017 de las estaciones climatológicas “Santa Rita Tlahuapan”, “Nanacamilpa”, “Río Frío” y “Sombrerito”, que pertenecen a la Red de Estaciones Climatológicas de CONAGUA – DGE. Estas se eligieron que fueron las más cercanas a la zona de estudio para realizar los climogramas correspondientes. Se utilizó una Imagen satelital Sentinel 2A, para el análisis de la vegetación, con una resolución espacial de 10 m, la fecha de adquisición corresponde al 23 de marzo del 2018, estación de fría-seca), obtenida de los archivos de la Serie sentinel a través de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) *www.earthexplorer.usgs.gov*, con un nivel de procesamiento L1 y libre de nubes.

La imagen satelital Landsat 8 OLI se recortó de acuerdo con la delimitación del área de estudio, con el fin de hacer más eficiente los procesos de corrección y clasificación. El procesamiento comprendió los procesos relacionados con la corrección atmosférica, para ajustar y mejorar los valores radiométricos y la calidad de la imagen satelital, y el procesamiento, análisis e integración de la información se realizó con el Sistema de Información Geográfica de uso libre *Quantum GIS versión 3.2.2 “Bonn”* (Quantum GIS Development Team, 2018).

#### **5. 1. 1. 1.- Corrección atmosférica.**

Las imágenes satelitales se pueden ver afectadas por la dispersión de luz ocasionada por distintos componentes de la atmósfera, como aerosoles, ozono, oxígeno y vapor de agua, lo cual modifica los valores de reflectancia de la superficie terrestre, disminuyendo el contraste de las imágenes satelitales (Chuvioco, 2002). El método de corrección atmosférica *Dark Substration Object* (DOS; Chavez, 1996) implica disminuir los efectos de la dispersión, absorción y refracción de la luz por las partículas atmosféricas y, por tanto, mejorar el contraste de las imágenes satelitales. Este procedimiento se realizó con el complemento *Semi-Automatic Classification Pluggin SCP v 5.3.6* del Sistema de Información Geográfica *Quantum GIS versión “Las Palmas” 2.18.14* (Quantum GIS Development Team, 2018). La **imagen 6** muestra la imagen satelital con proceso de corrección atmosférica, en la cual se observa que el brillo, nubosidad y bruma disminuyen aumentando el contraste de la imagen.



**Imagen 6. Corrección atmosférica de imagen satelital en la zona de estudio.**

#### **4. 1. 2.- Diseño de encuesta.**

Se elaboró el instrumento de evaluación de la percepción de los servicios ecosistémicos “*aprovechamiento forestal como un servicio ecosistémico de abastecimiento y el secuestro de carbono orgánico en el suelo como servicio de regulación local*”. A partir del cual se realizó una encuesta estructurada con 26 ítems para la aplicación directa a 16 informantes clave, de una población de 130 comuneros. Los informantes clave son personas que están involucradas en el manejo forestal en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc, para ello se utilizó en la mayoría de las preguntas una escala Likert de 4 y 5 valores.

#### **4. 2.- Etapa de campo.**

##### **4. 2. 1.- Reconocimiento de la zona de estudio.**

El 10 de enero de 2018 se realizó una salida de reconocimiento en campo con el objetivo de identificar las áreas de acuerdo con el PAC, y de realizar la vinculación con los representantes de los BCSJC e identificar los puntos de interés de muestreo (**Imagen 7**).



**Imagen 7. Visita de reconocimiento a la zona de estudio. Fuente. González – González, 2019.**

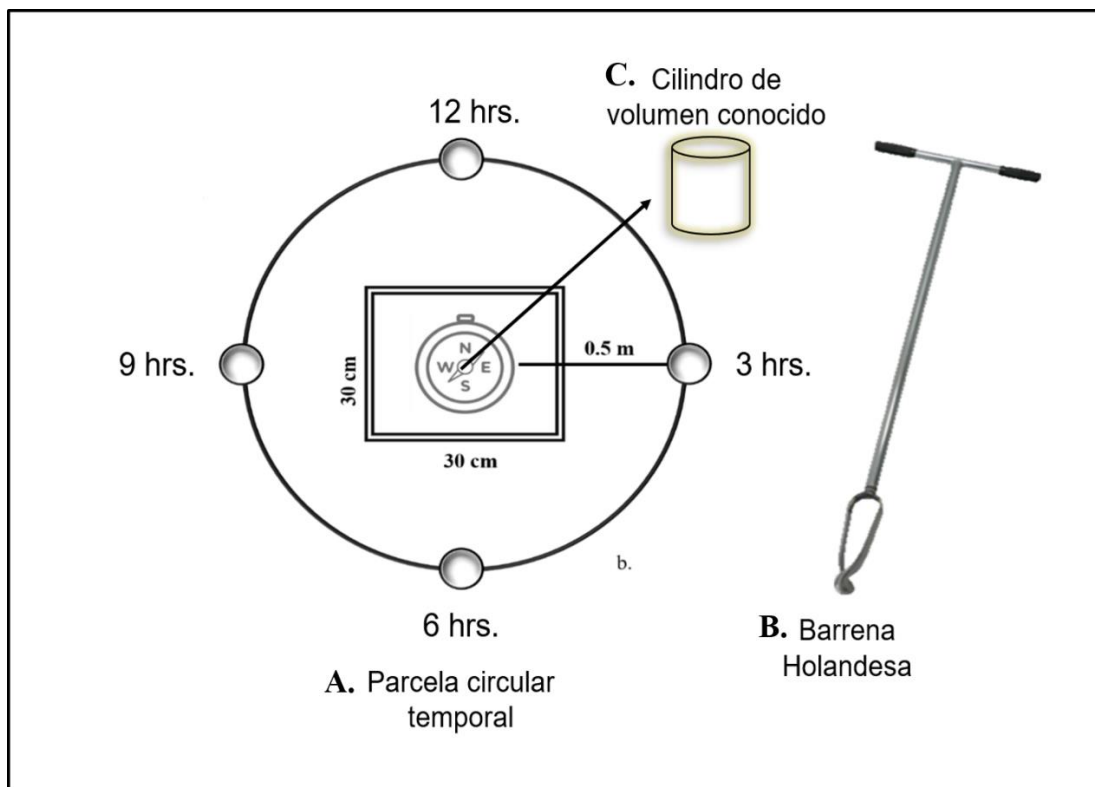
#### **4. 2. 2.- Muestreo.**

El trabajo de campo se realizó en los meses de febrero y mayo de 2018, y en el mes de febrero de 2019. El método de muestreo fue por conveniencia de acuerdo al Plan Anual de Cortas (PAC), a partir del cual se establecieron tres áreas de estudio: 1) el área con aprovechamiento forestal (AP) que comprende la anualidad 1 a 5 años, en su mayoría está representada por bosque de oyamel, y una parte de la zona de bosque de encinos y arbustos ubicada en la parte oriental, al norte del parque de la “Cruz”, tiene un área de 348 hectáreas. 2) el área sin aprovechamiento forestal (SA) comprende la anualidad 6 a 10 en la que se encuentra la mayor distribución del bosque de pino la cual tiene 346 hectáreas y 3) el área sin manejo (SM) con 306 hectáreas, representa las zonas que no se encuentra dentro del PAC, dentro de estas áreas está la zona llamada la “Bota”, y también se encuentra la parte alta del Cerro de Moyotepec (**Figura 8**).

Además, existen zonas al poniente del predio frágiles, debido a que se encuentran en laderas con pendientes pronunciadas y barrancas en donde está restringido el aprovechamiento maderable. Los recorridos en campo se hicieron gracias apoyo en campo del Sr. Vicente Ordaz comunero de los BCSJC. La unidad de muestreo fue la parcela temporal como recomienda Schlegel et al., (2001); Monreal et al., (2005) de forma circular con 0.5 m de radio (**Figura 7**). Se colocó un cuadrado de madera de 30 cm x 30 cm para registrar por medio de una fotografía

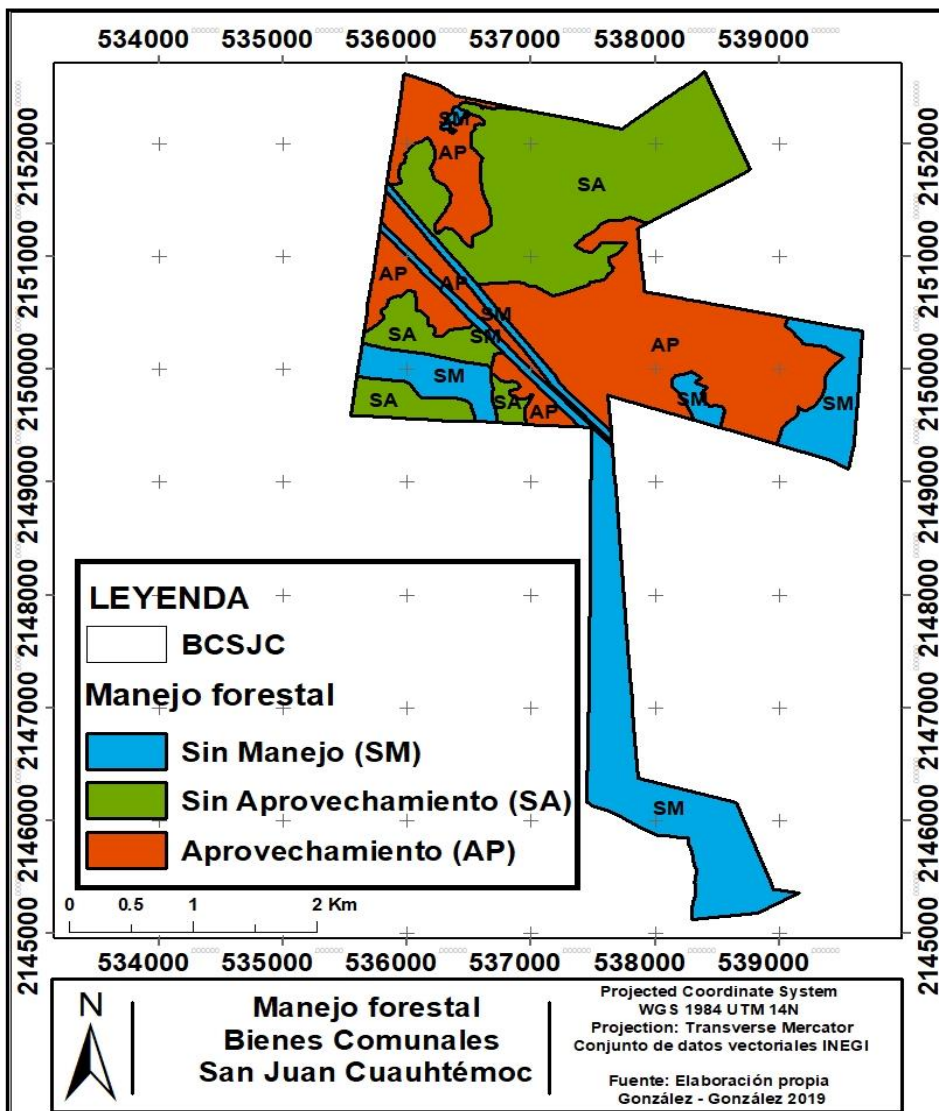
el sustrato. Al centro de este se situó una brújula para marcar los puntos cardinales, y que coincidiera con las horas del reloj (12, 3, 6 y 9) en donde se tomaron las muestras de suelo a dos profundidades (0 – 15 y 15 – 30 cm) con una barrena, para después obtener una muestra compuesta en el laboratorio. Se guardaron las muestras en bolsas de plástico de 20 x 30 cm, las cuales fueron etiquetadas en campo con el número de muestra y su georreferencia en coordenadas métricas para después ser procesadas en laboratorio. Debido a que el cálculo de carbono orgánico en el suelo requiere la medición precisa de la densidad aparente (Áviles – Hernández *et al.*, 2009), al centro de la parcela circular se tomó una muestra por el método de núcleo o cilindro de volumen conocido para el cálculo de la densidad aparente del suelo, se enterró el cilindro en el suelo y con ayuda de una pala se sacó, con una navaja se eliminaron las raíces y suelo que sobresalían del cilindro. Después de tomar la muestra se pesó en una balanza granataria para calcular el porcentaje de humedad del suelo, a cada cilindro se le colocó su etiqueta correspondiente. En cada una de las áreas de manejo se realizó la descripción de un perfil completo y la evaluación del entorno siguiendo el manual de Ruíz *et al.*, (1999).

**Anexo III.**



**Figura 7. Esquema de las herramientas utilizadas en el muestreo de suelo. Fuente. Elaboración propia.**





**Figura 8. Áreas de manejo en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc. Fuente. Elaboración propia.**

#### 4. 3.- Etapa de laboratorio

##### 4. 3. 1.- Caracterización física y química de las muestras del suelo

Se realizó la preparación de las muestras para su posterior análisis: secado al aire libre, homogeneización para obtención de las muestras compuestas, tamizado con malla de apertura de 2 mm y posteriormente se almacenaron. Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA) del Instituto de Ciencias (ICUAP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Se utilizaron las técnicas descritas en la NOM -021-RECNAT-2000 (**Tabla 7**).

Para calcular el carbono orgánico del suelo por unidad de área (ton/ha) se utilizó la siguiente fórmula (Penman *et al.*, 2003):

$$COS = C * DAP * P * 1 - FG * 10$$

Donde **COS** representa el carbono orgánico del suelo expresado por unidad de área (ton/ha) en función del contenido de carbono orgánico **C** (%), la densidad aparente **DAP** ( $Mg\ m^{-3}$ ), la profundidad del suelo **P** (m), y el porcentaje de fragmentos gruesos **FG** ( $> 2\ mm$ ).

**Tabla 8. Análisis de laboratorio según las propiedades del suelo.**

<b>Propiedad del suelo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método</b>
<b><i>Propiedades físicas</i></b>		
Densidad aparente ( <b>DAP</b> )	Mg m <sup>-3</sup>	Método del núcleo (UNAM, 2010)
Textura del suelo ( <b>T</b> )	Clase textural	Siebe et al., (2006)
Color del suelo ( <b>Col</b> )	Matiz, Brillo y Chroma /	Carta de color Munsell
Fragmentos gruesos ( <b>FG</b> )	%	
<b><i>Propiedades químicas</i></b>		
pH en agua (1:2) ( <b>pH</b> )		AS – 02
delta pH (1:2) KCl ( <b>Δ pH</b> )		AS – 02
Conductividad eléctrica ( <b>CE</b> )	dS/m	AS – 018
Nitrógeno Total ( <b>NT</b> )	%	AS – 08
Carbono orgánico ( <b>CO</b> )	%	Walkley y Black (AS – 07)
Materia orgánica de suelo ( <b>MOS</b> )	%	Walkley y Black (AS – 07)
Relación Carbono nitrógeno ( <b>C/N</b> )	%	AS – 07

#### **4. 4.- Etapa de Integración.**

Tanto para el análisis de datos cuantitativos como los cualitativos se utilizó la plataforma RStudio v.3.5.2 (R Core Team, 2017). En cuanto a los datos cuantitativos se realizó la estadística descriptiva de todos los datos, estadística multivariada, análisis de varianza y un modelo lineal generalizado.

#### **4. 4. 1.- Análisis de COS (ton/ha) en diferentes condiciones forestales y determinación de la variable más influyente.**

En los modelos lineales y lineales generalizados, se asume que la variable respuesta siempre sigue una distribución normal, esto no ocurre siempre (Oroza et al., 2016). El Modelo Lineal Generalizado (GLM por sus siglas en inglés) permite considerar distribuciones para la variable respuesta entre aquellas que pertenecen a la familia de distribuciones exponencial esta; la distribución Binomial, Bernoulli, Binomial y Poisson, también permite utilizar otros miembros de la familia multinomial como la Binomial negativa, Gamma, Exponencial y Log normal (Mehtätalo, 2013; Oroza *et al.*, 2016).

El objetivo de un GLM es estimar y especificar un modelo en donde una variable de interés es explicada por un conjunto de variables. En este caso se utilizó GLM para determinar la variable categórica más importante o influyente en la variable respuesta a partir del porcentaje de explicación (calculado por el valor de la devianza). Por las características de la variable respuesta (COS ton/ha), en este modelo se utilizó el error de distribución Gamma.

#### **4. 4. 3.- Prueba de hipótesis.**

Después de la obtención de datos de los análisis fisicoquímicos, se usaron pruebas de hipótesis estadísticas para comparar las medias de las diferentes características del suelo en diferentes condiciones forestales. Se utilizó el análisis de varianzas (ANOVA) de múltiples factores para probar la hipótesis nula  $H_0$ = todas las medias de los grupos son iguales contra la hipótesis alternativa  $H_a$ = al menos una de las medias de los grupos es distinta. Posteriormente se realizó un Análisis Duncan para la comparación de medias entre grupos estadísticamente significativos.

#### **4. 4. 3.- Determinación de variables físico - químicas más importantes.**

Para determinar las variables fisicoquímicas más importantes en el suelo se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para analizar su relación con el carbono orgánico del suelo. El ACP es una técnica estadística multivariante de simplificación, que permite transformar un conjunto de variables correlacionadas, en un conjunto de variables no correlacionados entre sí, estas variables son llamados componentes principales o factores. Las nuevas variables son combinaciones linealmente independientes de las variables originales, ordenadas de acuerdo con la representación de dispersión respecto a la nube total de información.



#### 4. 4. 4.- Análisis de las variables físico - químicas más importantes y su relación con el COS.

Se propone aplicar un método simple de regresión múltiple (RLM) para explicar la relación entre las variables físico – químicas más importantes y el carbono orgánico del suelo (ton/ha). En el análisis de regresión múltiple se ajusta una función lineal a un conjunto de variables independientes ( $x_i$ ) aproximando la variable dependiente ( $Y$ ). El objetivo es calcular los valores de los coeficientes ( $\beta_i$ ) de la significancia de la ecuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1*x_1 + \beta_2*x_2 + \beta_3*x_3 + \dots + \beta_k*x_k + \varepsilon$$

El RLM requiere que las variables de entrada sean explicativas de la variable de salida además cada variable de entrada incorpore información diferente. El valor que sirve para aceptar o rechazar la hipótesis planteada es valor de p.

Prueba de significancia de la regresión:

La prueba de significancia de la regresión nos sirve para determinar si existe una relación lineal entre la variable respuesta  $Y$  (COS) y cualquiera de las variables regresoras  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . Este procedimiento se considera como una prueba general del ajuste del modelo. Las hipótesis pertinentes son hipótesis nula  $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$  contra la hipótesis alternativa  $H_a = \beta_j \neq 0$ , al menos alguna  $j$ . Dado el nivel de significancia  $\alpha$ , el rechazo de la hipótesis nula implica que al menos uno de los regresores  $x_1, x_2, \dots, x_k$  contribuye al modelo de forma significativa.

## CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 5. 1.- Etapa de campo.

#### 5. 1. 1.- Muestreo.

El muestreo de suelos consistió en la recolección de 88 muestras compuestas de suelo, de las cuales 44 son de 0 - 15 cm de la profundidad y 44 muestras de 15 – 30 cm de profundidad del suelo (**Figura 9**). En el área de aprovechamiento se tomaron en total 22 muestras de las cuales nueve muestras fueron en Bosque de Pino, ocho en Bosque de Oyamel y cinco en Bosque de Pino - Encino. En el área sin aprovechamiento se tomaron once muestras, ocho muestras en el Bosque de Pino y tres muestras en el Bosque de Oyamel. Por último, en el área sin manejo se tomaron 11 muestras en total, cuatro muestras en Bosque de Pino, seis en Bosque de Oyamel y una muestra en el Bosque de Pino -Encino (**Imagen 7 – 9**)



**Imagen 8. Área de aprovechamiento forestal (AP). Fuente. González – González, 2019.**



**Imagen 9. Área sin aprovechamiento forestal (SA). Fuente. González – González, 2019.**





**Imagen 10. Área sin manejo forestal (SM). Fuente. González – González, 2019.**

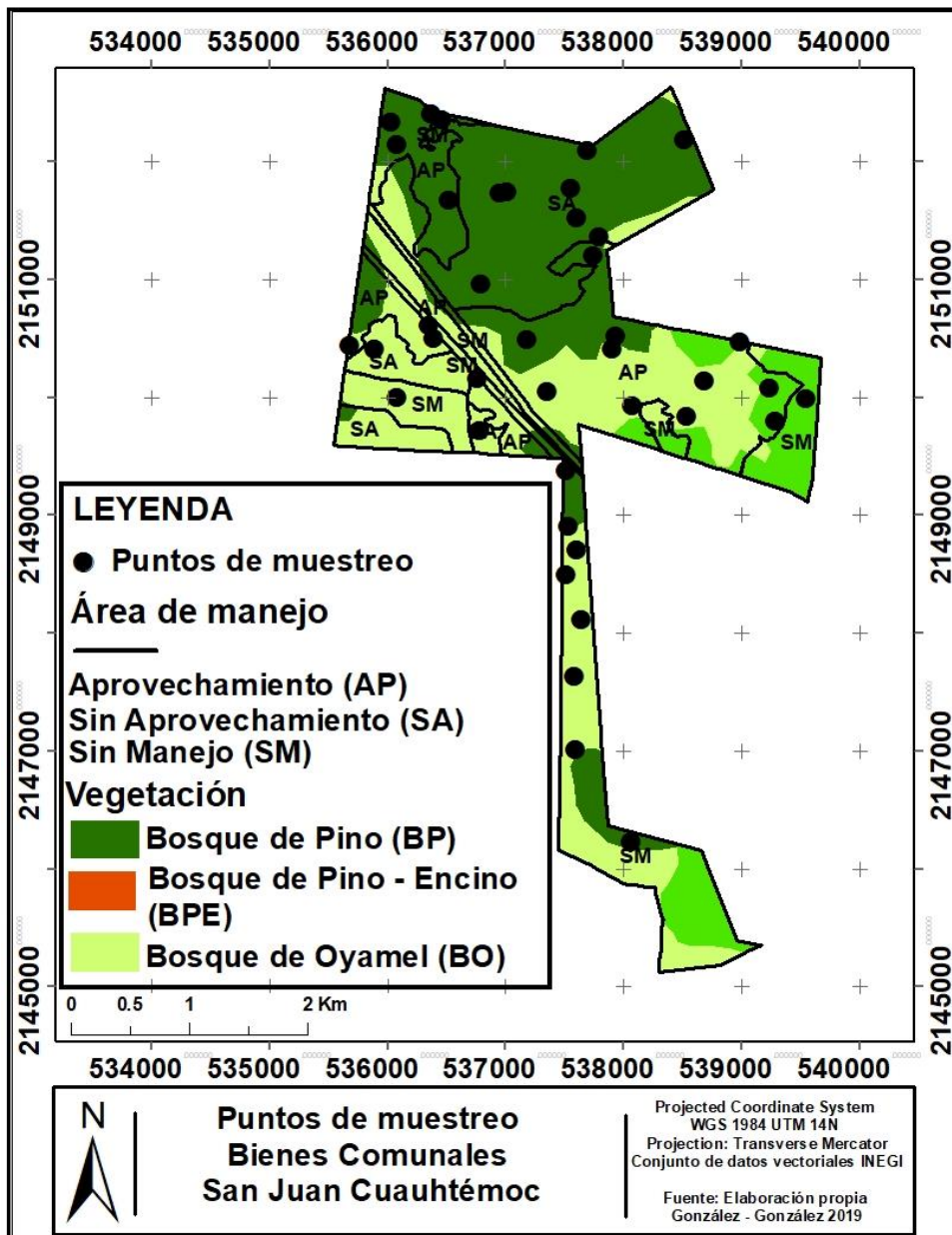
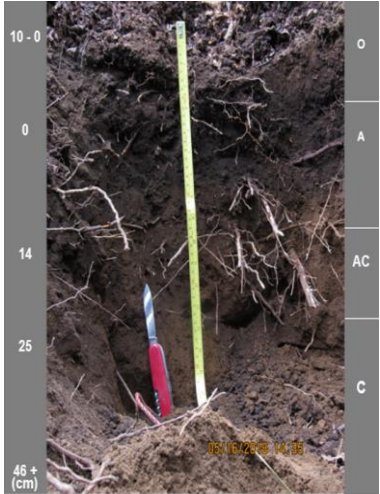



Figura 9. Puntos de muestreo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan. Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 9. Descripción del perfil 1 en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.**

Evaluación del entorno. edad del suelo: joven, tipo de formación: in situ, no presenta signos de erosión, con una pendiente muy fuerte (30 %), con influencia humana de moderada a fuerte, en un relieve montañoso. Presenta un drenaje interno y externo drenado. No hay presencia de afloramientos rocosos. Se identificaron los siguientes factores limitantes: pendiente y profundidad. El tipo de vegetación es bosque de Oyamel, hay presencia de musgo y líquen. Uso del suelo: forestal.						
Fecha: 16 – 05 – 2018	Ubicación geográfica: N 19°26'71.50" y O 98°37'88"	Altitud: 3360 m.s.n.m	Exposición: este			
Localización: Paraje los conejos	Clasificación: Andosol (INEGI, 2010)			Estado del tiempo: nublado		
Perfil 1	Horizonte	Descripción del perfil				
	A 0 – 14 cm	Separación difusa de forma ondulada; color en seco 2.5 Y 3/2; sistema radicular muy desarrollado con raíces finas y medias abundantes; granular con bloques subangulares pequeños; poros pequeños y abundantes; textura franca; ligeramente plástico y ligeramente adhesiva; consistencia friable; reacción al NaF débil; medianamente húmedo al tacto.				
	AC 14 – 25 cm	Separación gradual de forma ondulada, color en seco 2.5 Y 4/3, sistema radicular desarrollado con raíces finas y medianas abundantes; bloques subangulares medianos; poros pequeños y escasos; textura limosa, no plástica ni adhesiva; consistencia friable; reacción al NaF moderada; húmedo al tacto; presencia de piedras pequeñas y escasas; guijarros.				
	C 25 – 46 +	Separación gradual de forma ondulada, color en seco 2.5 Y 5/3, sistema radicular desarrollado con raíces medianas y gruesas; bloques subangulares; poros pequeños y escasos; textura limosa; no plástica ni adhesiva; consistencia friable; reacción al NaF moderada; húmedo al tacto.				
<b>Propiedades físico – químicas del perfil:</b>						
Horizonte	pH (H <sub>2</sub> O)	MOS (%)	C (%)	NT (%)	C/N (%)	Clase textural
A	5.41	9.52	5.54	1.66	3.33	CA
AC	5.79	11	6.4	0.75	8.53	CL
C	5.6	12.3	7.2	0.14	51.42	CL

MOS: materia orgánica del suelo, C: carbono orgánico, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono nitrógeno, CA: franco arenoso, CL: franco limoso.


**Tabla 10. Descripción del perfil 2 en los Bienes Comunes de San Juan Cuauhtémoc.**

<b>Evaluación del entorno:</b> Edad del suelo: joven, tipo de formación: <i>in situ</i> , presenta signos de erosión laminar, con un grado de pendiente muy fuerte (40 %), con influencia humana fuerte, en un relieve montañoso. Presenta un drenaje interno y externo drenado. Se presentan afloramientos de rocas del 5 al 10 % en la superficie (granito). Se identificaron los siguientes factores limitantes: pendiente, profundidad, rocas, erodabilidad, erosionado. El tipo de vegetación es bosque de Oyamel, musgo y líquen. Uso del suelo: forestal.						
<b>Fecha:</b> 17 – 05 – 2018	<b>Ubicación geográfica:</b> N 19°27'78" y O 98°38'52.97"		<b>Altitud:</b> 3374 m.s.n.m.	<b>Exposición:</b> este		
<b>Localización:</b> Paraje los conejos	<b>Clasificación:</b> Andosol (INEGI, 2010)			<b>Estado del tiempo:</b> nublado		
<b>Perfil 2</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Descripción del perfil</b>				
	<b>Oa 10/1/2000</b>	Material parcialmente descompuesto muy fino con < 17 % de fibras identificables				
	<b>A 0 – 20</b>	Separación discontinua de forma irregular; color en seco café oscuro grisáceo 2.5 Y 4/2; sistema radicular con raíces finas y medias muy desarrollado; estructura migajosa y granular; poros finos y abundantes; textura al tacto limosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesiva; consistencia friable; reacción al NaF moderado; húmedo al tacto.				
	<b>AB1 20 - 74</b>	Separación gradual de forma difusa; color en seco café oliva claro 2.5 Y 5/3; sistema radicular con raíces medias muy desarrollado; estructura suelta y granular; poros pequeños y abundantes; textura al tacto franco limosa; medianamente plástico y adhesiva; consistencia muy ligeramente compacta; reacción al NaF fuerte; húmedo al tacto.				
	<b>AB2 74 - 98</b>	Separación gradual de forma difusa; color en seco café oliva claro 2.5 Y; sistema radicular con raíces medias muy desarrollado; estructura suelta y granular; poros pequeños y abundantes; textura al tacto franco arenosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesiva; consistencia muy ligeramente compacta; reacción al NaF fuerte; húmedo al tacto.				
	<b>BC 98 - 103</b>	Separación gradual de forma difusa; color en seco café 7.5 YR 6/3; sistema radicular con raíces medias muy desarrollado; estructura bloques subangulares pequeños y medianos; poros pequeños y abundantes; textura al tacto franco limosa; ligeramente plástico y adhesiva; consistencia compacta; reacción al NaF débil; húmedo al tacto.				
<b>Propiedades físico – químicas del perfil</b>						
<b>Horizonte</b>	<b>pH</b>	<b>MOS (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>NT</b>	<b>C/N</b>	<b>Clase textural</b>
<b>A</b>	5.93	12.47	7.22	0.14	51	L
<b>AB1</b>	6.08	14.96	8.07	0.25	32	CL
<b>AB2</b>	6.11	15.68	9.12	0.24	38	CL
<b>BC</b>	6.1	15.87	9.2	0.45	20	CL

**MOS:** materia orgánica del suelo, **C:** carbono orgánico, **NT:** nitrógeno total, **C/N:** relación carbono nitrógeno, **L:** limoso, **CL:** franco limoso.



**Tabla 11. Descripción del perfil 3 Bienes Comunales de San Juan Cuauhtémoc.**

<b>Evaluación del entorno:</b> Edad del suelo: joven, tipo de formación: <i>in situ</i> , presenta signos de erosión laminar, con un grado de pendiente muy fuerte (40 %), con influencia humana fuerte, en un relieve montañoso. Presenta un drenaje interno y externo drenado. Se presentan afloramientos de rocas del 5 al 10 % en la superficie (granito). Se identificaron los siguientes factores limitantes: pendiente, profundidad, rocas, erodabilidad, erosionado. El tipo de vegetación es bosque de Oyamel, musgo y líquen. Uso del suelo: forestal.						
<b>Fecha:</b> 17 – 05 – 2018	<b>Ubicación geográfica:</b> N 19°27'78" y O 98°38'52.97"	<b>Altitud:</b> 3374 m.s.n.m.	<b>Exposición:</b> Este			
<b>Localización:</b> Paraje los conejos		<b>Clasificación:</b> Andosol (INEGI, 2010)		<b>Estado del tiempo:</b> nublado		
<b>Perfil 3</b>	<b>Horizonte</b>	<b>Descripción del perfil</b>				
	<b>Oe 10 – 0 cm</b>	Material parcialmente descompuesto fino entre el 17 y 40 % de fibras identificables				
	<b>A 0 – 10 cm</b>	Separación clara de forma irregular; color en seco café muy oscuro grisáceo 2.5 Y 3/2; sistema radicular con raíces finas abundantes desarrollado; estructura migajosa; poros finos y abundantes; textura al tacto franco arenosa; nula plasticidad y adhesividad; consistencia muy friable; reacción al NaF débil. presenta gravas finas; rocas.				
	<b>AC 10 – 40 cm</b>	Separación clara de forma irregular; color en seco café oscuro grisáceo 2.5 Y 4/2; sistema radicular con raíces medianas y finas abundantes y gruesas escasas desarrollado; estructura migajosa; poros finos y abundantes; textura al tacto franco limosa; nula plasticidad y adhesividad; consistencia muy friable; reacción al NaF moderada; presenta gravas finas; rocas.				
	<b>R 40 – 80 cm</b>	Separación clara de forma irregular; color en seco rojizo opaco 10 R 6/3; sistema radicular con raíces finas abundantes desarrollado; estructura migajosa; poros finos y abundantes; textura al tacto limosa; nula plasticidad y adhesividad; reacción al NaF fuerte.				
<b>Propiedades físico – químicas del perfil</b>						
<b>Horizonte</b>	<b>pH</b>	<b>MOS (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>NT</b>	<b>C/N</b>	<b>Clase textural</b>
<b>A</b>	5.41	12.2	7.08	0.23	52	CA
<b>AC</b>	5.79	11.51	6.98	0.46	15.17	CL
<b>AR</b>	5.81	11.65	6.76	0.26	26	CL

MOS: materia orgánica del suelo, C: carbono orgánico, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono nitrógeno, CA: franco arenoso, CL: franco limoso.

## 5. 2.- Análisis de datos

### 5. 2. 1.- Determinación del carbono orgánico del suelo (ton/ha) en diferentes condiciones forestales.

La cantidad de carbono orgánico del suelo y su dinámica está afectada fuertemente por el manejo de los ecosistemas. Los suelos forestales, usualmente reportan concentraciones mayores de COS y valores inferiores de densidad aparente en comparación con los suelos bajo otro uso (agrícola o pecuario).

En los BCSJC se encontró una media de 231 ton/ha, este valor es consistente con la bibliografía, siendo más alto que lo reportado en los trabajos de Montreal *et al.*, (2005), pero más bajo que lo reportado por Nanzyo, M., R. Dahlgren, y S. Shojiet, (1993), en suelos de la Faja Neovolcánica Transversal, aunque concuerda con los trabajos reportados por INEGI, (2009); Cruz y Etchevers, (2011). Este valor de carbono orgánico del suelo es alto si se comparara con otros tipos de uso de suelo como agrícola o pecuario, esto se puede explicar por los complejos órgano - metálicos y órgano - minerales presentes en los suelos volcánicos. En cuanto al COS por profundidad, a 0 – 15 cm el COS es de  $232 \pm 108.89$  y de 15 – 30 cm de profundidad de  $229.93 \pm 139.01$  ton/ha, se observa una diferencia muy ligera, a diferencia de lo reportado por Avilés – Hernández *et al.*, (2009) en la reserva de carbono orgánico en el suelo es más alta en los primeros 15 cm de profundidad (85 ton/ha), siendo el doble que lo encontrado de 15 a 30 cm. Se observa una gran variabilidad (por la desviación estándar) en la cantidad de carbono orgánico del suelo a pesar de que el área de estudio es relativamente pequeña, este resultado puede deberse al tipo de muestreo, aunque esta misma situación se reporta en el trabajo de Pérez – Ramírez *et al.*, (2013), y se observa en los valores encontrados por (Saynes *et al.*, 2012; Ordoñez *et al.*, 2008). En este estudio el valor mínimo es de 21 ton/ha en la zona de aprovechamiento, con vegetación de pino – encino y en la profundidad de 15 – 30 cm y un máximo de 598 ton/ha dato encontrado en la zona de aprovechamiento con vegetación de pino y en la profundidad de 15 – 30. En cuanto a las variables necesarias para el cálculo del contenido de COS, se encontró que los valores de densidad aparente están dentro de rango de 0.3 – 1.12, con una media de  $0.6 \text{ Mg m}^{-3}$  lo cual es consistente con lo reportado en la literatura (Cruz y Etchevers, 2011; Ordoñez *et al.*, 2008). (**Tabla 12**).



**Tabla 12. Estadística descriptiva de las variables usadas para el cálculo del COS (ton/ha).**

<b>Propiedad del suelo</b>	<b>Media</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
COS (ton/ha)	231 ± 124	21.08	598.88
C (%)	7.44 ± 3.55	0.410	15.61
DAP (Mg m <sup>-3</sup> )	0.07 ± 0.15	0.36	1.12
FG (%)	25.23 ± 15.61	1.61	96.92

**COS: carbono orgánico del suelo (ton/ha), C (%): carbono orgánico del suelo en porcentaje, DAP: densidad aparente del suelo, FG: fragmentos gruesos.**

### 5. 2. 2.- Análisis del COS (ton/ha) en diferentes condiciones forestales.

En la **Tabla 13** se muestra la estadística descriptiva del COS y las variables que se utilizaron para calcularlo por condición forestal: manejo, formación vegetal y profundidad.

**Tabla 13. Medias generales de COS, C, DAP y FG por condición forestal: manejo, formación vegetal y profundidad de la muestra tomada en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.**

Manejo	Cobertura vegetal	Profundidad (cm)	COS (ton/ha)	C (%)	Densidad aparente (Mg m <sup>-3</sup> )	FG (%)	
AP	BP	0 – 15	230	10.26	0.5	26.37	
		15 – 30	367	9.79	0.7	25.35	
	BO	0 – 15	226	8.94	0.6	26.98	
		15 - 30	218	6.03	0.7	18.95	
	BPE	0 - 15	319	8.24	0.8	30.45	
		15 - 30	253	5.24	0.8	21.33	
SA	BP	0 – 15	294	11.21	0.6	28.23	
		15 – 30	233	6.77	0.7	39.69	
	BO	0 – 15	289	9.51	0.7	24.96	
		15 - 30	154	6.21	0.6	23.66	
	SM	BP	0 – 15	128	4.80	0.5	30.50
			15 – 30	153	5.40	0.7	32.56
BO		0 – 15	119	4.42	0.6	17.54	
		15 – 30	115	3.06	0.8	18.02	
BPE		0 – 15	287	7.67	0.8	16.12	
		15 - 30	248	4.87	0.8	76.23	

**AP: área de aprovechamiento, SA: área sin aprovechamiento, SM: área sin manejo, BP: bosque de Pino, BPE: bosque de Pino – Encino, BO: bosque de Oyamel.**

Después del análisis exploratorio de las variables, se prosiguió a realizar la prueba de normalidad Shapiro – Wilk, ( $< 0.05$ ), en la cual los datos de la variable COS no mostraron una distribución normal. Para saber si el COS varía entre los diferentes factores, se realizó un modelo lineal generalizado con un error de distribución gamma con la paquetería “lme4” (Bates et al., 2016). La fórmula es la siguiente:

$$\text{COS (ton/ha)} \sim \text{M} * \text{CV} * \text{P} + \varepsilon$$

Dónde: COS (ton/ha) es el carbono orgánico expresado en unidad por área, M: manejo, CV: condición vegetal, P: profundidad en cm y E: error.

Se hizo una inspección de los supuestos generales de normalidad y homocedasticidad en el modelo realizado, con el gráfico de los valores residuales contra los valores predichos y el gráfico de cuantiles en los residuales para el modelo. El modelo se realizó con la interacción de los factores, siendo el manejo con sus tres niveles AP, SA y SM, cobertura vegetal: BO, BP, BPE y la profundidad (0 – 15 cm y de 15 – 30 cm) los factores a considerar (**Tabla 14**). La variabilidad se explica por el manejo siendo significativo al igual que el tipo de vegetación, mientras que la profundidad y los factores con interacciones no son significativos con un  $\alpha=0.05$ . El porcentaje de explicación se calculó dividiendo la devianza entre el error total por cien, la variable vegetación explica un 7 % mientras que el manejo un 15 %. El análisis de contrastes (**Figura 8**) muestra que existen diferencias en el carbono orgánico del suelo debido al manejo forestal (Álvarez y Rubio, 2016), el área sin manejo (SM), es la que difiere estadísticamente del área de aprovechamiento (AP) y sin aprovechamiento (SA). Debido a que, el área SM es la que contiene cantidades menores de COS (141.45 ton/ha), por lo que en las áreas dentro del Plan Anual de Cortas (AP y SA), se obtuvieron cantidades mayores de COS 265 y 252 ton/ha respectivamente. Esto puede explicarse debido a que el área SM se encuentran zonas frágiles, es zona de recarga de acuíferos y esto es otro factor importante para considerar, además esta zona estuvo sujeta a un manejo intenso hace 30 años aproximadamente, antes de que se declarara cómo área para conservar. Este factor es importante ya que las disminuciones de COS pueden permanecer de 80 a 100 años después de deforestar y de que haya iniciado la sucesión secundaria (Lal 2005a). A pesar de que la deforestación genera degradación física del suelo pues afecta a la estructura, agregación y porosidad, teniendo impacto en la reducción de la capacidad de infiltración de agua y cambios en la capacidad de retención de agua el contenido de COS es mayor en las áreas que pertenecen al área de manejo, es decir que se encuentran dentro del Plan Anual de Cortas por el contrario, Pérez – Ramírez, (2013) reportaron que en los rodales conservados o sin manejo el COS tuvo valores mayores, tomando en cuenta que en ese trabajo se analizó el perfil del suelo completo.

**Tabla 14. Análisis de la varianza de las condiciones forestales.**

<b>Término</b>	<b>gl</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>P</b>	<b>Sig.</b>	<b>%</b>
<b>CV</b>	2	2.153	0.02	*	7.08
<b>M</b>	2	4.68	0.00	***	15.40
<b>P</b>	1	0.00	0.90		0.01
<b>CV:M</b>	3	0.93	0.34		3.07
<b>CV:P</b>	2	0.57	0.36		1.87
<b>M:P</b>	2	1.39	0.08	.	4.57
<b>CV:M:P</b>	3	0.01	0.99		0.03
<b>error</b>	75	20.65			67.93
<b>Total</b>	87	30.40			

Código de significancia: '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' '1.

Análisis de la varianza a partir del modelo lineal generalizado con error gamma y con los efectos de interacción de las condiciones forestales: manejo (AP, SA, SM), cobertura vegetal (BP, BO, BPE) y la profundidad (0 – 15 y de 15 – 30 cm). CV: representa la cobertura vegetal, M: es el manejo forestal, P: es la profundidad. La devianza explicada está dada por x<sup>2</sup>, gl: los grados de libertad, Sig: código de significancia (\*\*p < 0.001, \*\*p < 0.01, \*p < 0.05), el % explica cuanto influye la variable explicativa en el fenómeno, a partir de la devianza.

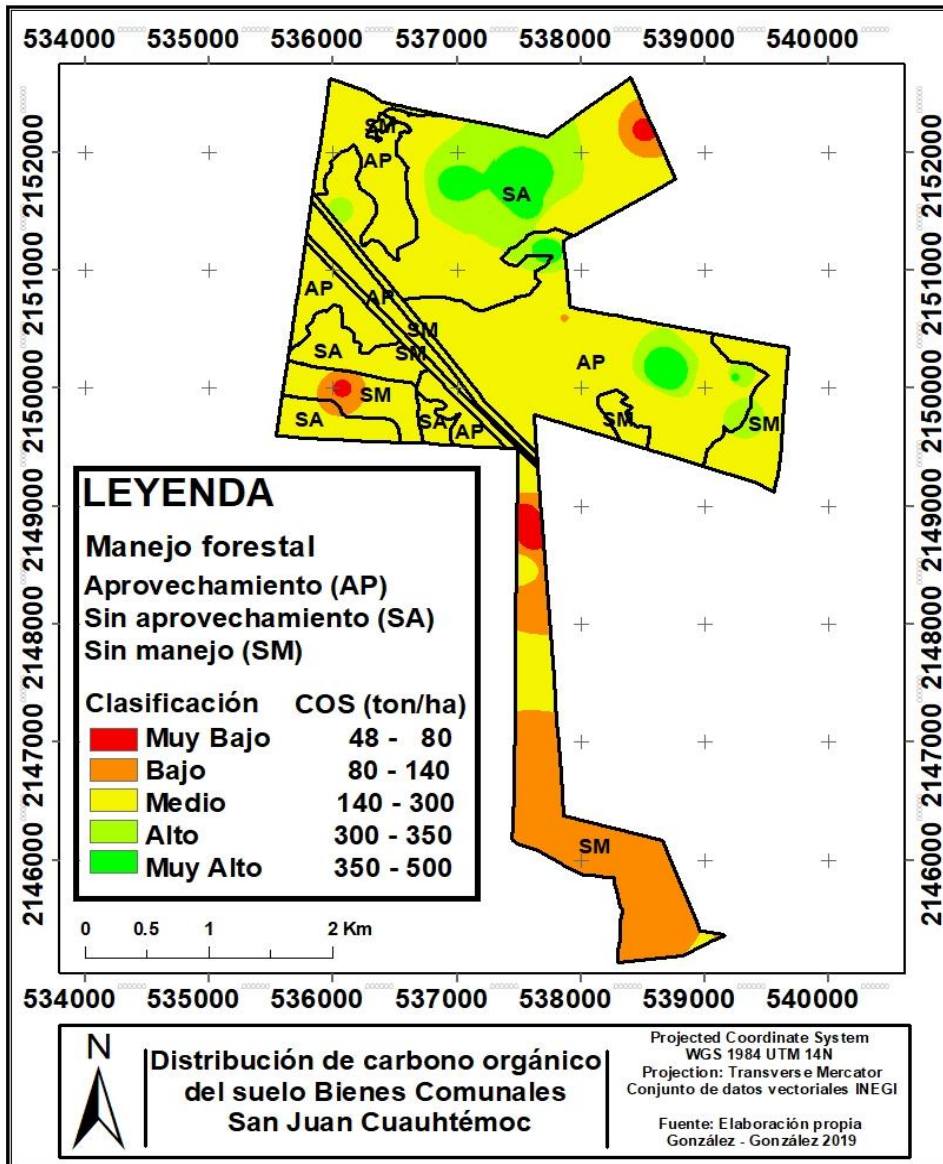
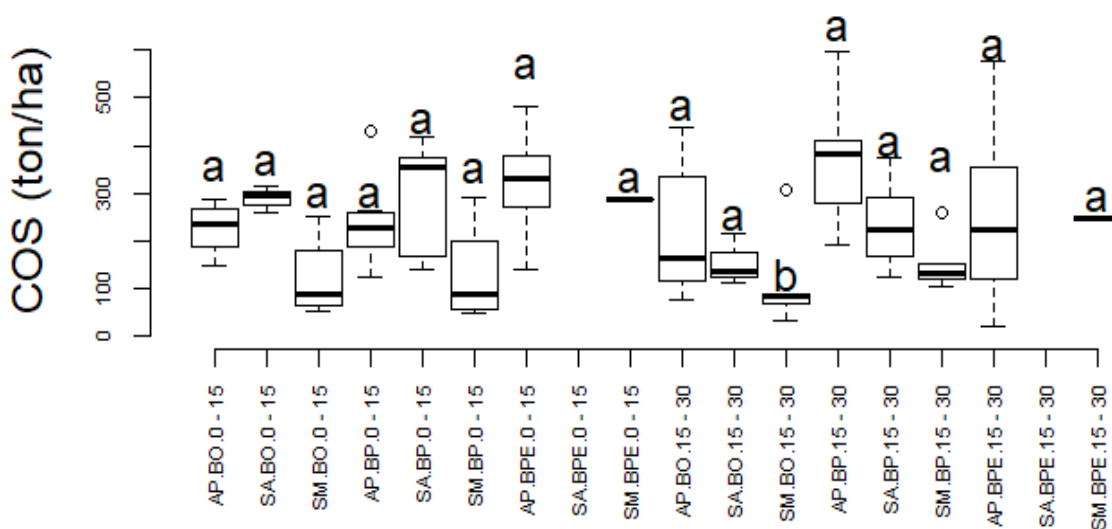


Figura 10. Mapa de la distribución de carbono orgánico del suelo (ton/ha) en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.

## Cabono orgánico del suelo por condición forestal en los BCSJC



**Figura 8.** Análisis de contrastes de COS ton /ha por condición forestal: manejo, vegetación y profundidad. AP: área de aprovechamiento, SA: área sin aprovechamiento, SM: área sin manejo, BP: bosque de Pino, BPE: bosque de Pino – Encino, BO: bosque de Oyamel.

En los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc el carbono orgánico del suelo con diferentes tipos de vegetación presentó diferencias significativas (**Figura 8**), encontrándose que en la vegetación de Pino – Encino hay 280.76 ton/ha, esto es 31 ton/ha mayor que en los bosques bajo Pino y 93 ton/ha que en la vegetación de Oyamel. En varios trabajos se ha encontrado que los bosques de Oyamel tienen mayor cantidad de COS que los bosques de Pino y de Pino - Encino tanto en bosque primario y secundario (Segura – Castruita *et al.*, 2004). En otros más la vegetación de Pino – Encino favorece el almacén del carbono orgánico del suelo debido a que el COS en bosques de Pino está relacionado con el tipo de hojas (acículas) ricas en lignina, que forma una hojarasca poco degradable, mientras que las hojas del Encino contienen un poco más de carbono en su composición lo que beneficia a su descomposición.

### Carbono orgánico del suelo en Bosque de Pino.

Se encontró que en la cobertura vegetal: Bosque de Pino, el COS tiene una media de 249 ton/ha, Ordoñez (1999) reporta 156 ton/ha. Acosta – Mireles, Carrillo – Anzures y Díaz (2009) reporta una cantidad de 108 ton/ha en rodales de Pino. En cuanto a la profundidad existe 235 y 265 ton/ha respectivamente, siendo mayor estos valores a lo reportado por Acosta – Mireles, Carrillo – Anzures y Díaz (2009). Por lo tanto, el valor de COS en las muestras de 15 – 30 cm

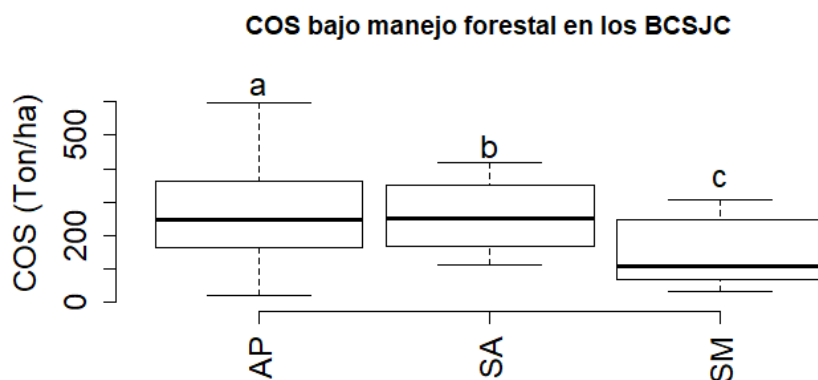
tienen mayor cantidad de carbono orgánico, se esperaría que conforme aumenta la profundidad del suelo el carbono orgánico del suelo disminuyera (Acosta – Mireles, Carrillo – Anzures y Díaz 2009). En la vegetación de Pino el elemento principal de la materia orgánica es la lignina, la cual es un elemento recalcitrante de la madera, debido a lo anterior el COS se estabiliza en el suelo durante décadas.

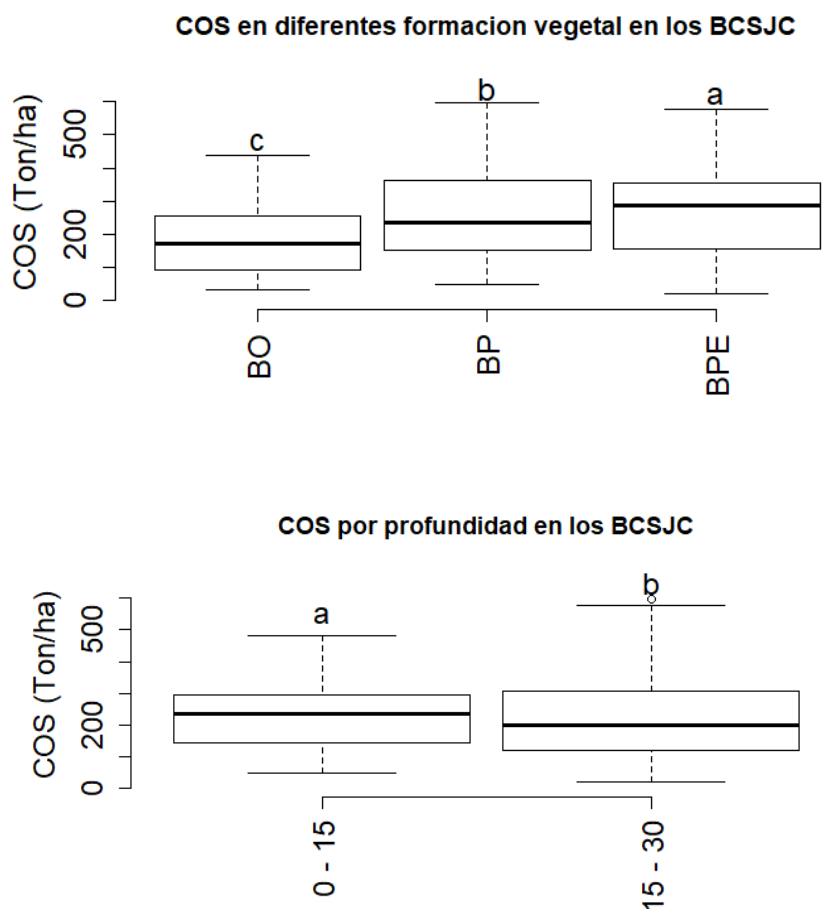
### **Carbono orgánico del Suelo en Bosque de Pino – Encino.**

Para el BPE existe  $280 \pm 152$  ton/ha. En la zona de AP el COS es de 319 ton/ha de 0 – 15 cm y 253 de 15 – 30 cm del suelo, estos valores están muy por arriba de lo encontrado en el trabajo de Silva – Pérez, (2013). De acuerdo con su respectiva profundidad y en la zona SM de 287 y 248 respectivamente. Siendo mayor la cantidad de COS reportada en este trabajo en comparación con trabajos de Ordoñez, 1999; Cruz – Flores *et al.*, 2011; Vela *et al.*, 2012 y Silva – Pérez, (2013) reportan para este tipo de vegetación un rango de 70 – 120 ton C/ha.

### **Carbono orgánico del Suelo en Bosque de Oyamel.**

Se encontró que los bosques de Oyamel tienen un promedio de 187 ton C/ha lo cual concuerda con el rango reportado para este tipo de vegetación (92 a 216 ton C/ha) por otros autores. Se determinó que el carbono orgánico del suelo en la zona SM es de 117.77 ton/ha, esta cantidad es relativamente menor con lo reportado en el trabajo de Silva – Pérez, (2013). La vegetación de Oyamel contiene mayor cantidad de lignina que los Pinos (Acosta – Mireles *et al.*, 2009).





**Figura 9. Carbono orgánico del suelo (ton/ha) por condición forestal. Las letras diferentes muestran las diferencias estadísticamente significativas con la prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95 %.**

### 5. 2. 3.- Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Las muestras de suelo de los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc fueron caracterizadas, considerando las propiedades físicas y químicas, y las características de la materia orgánica. La estadística descriptiva se muestra en la **Tabla 15 - 17**.

**Tabla 15. Estadística descriptiva de propiedades físicas del suelo en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc.**

Condición		DAP (Mg m <sup>-3</sup> )	FG (%)
<b>Forestal</b>			
<b>Manejo</b>	SA	0.70 ± 0.12 a	31.32 ± 19.04 a
	AP	0.67 ± 0.14 a	24.72 ± 12.36 a



<b>Cobertura Vegetal</b>	SM	0.66 ± 0.18 <b>a</b>	26.02 ± 17.40 <b>a</b>
	BP	0.65 ± 0.14 <b>b</b>	30.19 ± 15.15 <b>a</b>
	BPE	0.80 ± 0.11 <b>a</b>	28.66 ± 21.80 <b>a</b>
	BO	0.67 ± 0.15 <b>b</b>	21.48 ± 12.02 <b>a</b>
<b>Prof. (cm)</b>	0 - 15	0.75 ± 0.13 <b>a</b>	27.27 ± 10.61 <b>a</b>
	15 - 30	0.62 ± 0.14 <b>b</b>	26.12 ± 19.49 <b>a</b>
<b>Media general</b>		0.68 ± 0.15	26.70 ± 15.61

Se muestra la estadística descriptiva de las variables físicas en diferentes condiciones forestales. Las letras diferentes muestran las diferencias estadísticamente significativas con la prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95 %. Prof: profundidad. DAP: densidad aparente del suelo, FG: fragmentos gruesos, AP: área de aprovechamiento, SA: área sin aprovechamiento, SM: área sin manejo, BP: bosque de Pino, BPE: bosque de Pino -Encino, BO: bosque de Oyamel.

Tabla 16. Estadística descriptiva de las propiedades químicas del suelo en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc.

Condición Forestal		pH (H <sub>2</sub> O)	Δ pH	CE CF	NT (%)
<b>Manejo</b>	SA	5.50 ± 0.55 <b>a</b>	- 0.99 ± 0.60 <b>a</b>	0.99 ± 0.60 <b>a</b>	0.34 ± 0.20 <b>a</b>
	AP	5.39 ± 0.44 <b>a</b>	- 0.97 ± 0.50 <b>a</b>	0.97 ± 0.50 <b>a</b>	0.37 ± 0.19 <b>a</b>
	SM	5.61 ± 0.56 <b>a</b>	- 0.72 ± 0.36 <b>a</b>	0.72 ± 0.36 <b>a</b>	0.25 ± 0.35 <b>a</b>
<b>Cobertura Vegetal</b>	BP	5.36 ± 0.45 <b>a</b>	- 0.92 ± 0.53 <b>a</b>	0.92 ± 0.53 <b>a</b>	0.34 ± 0.21 <b>a</b>
	BPE	5.49 ± 0.46 <b>a</b>	- 0.87 ± 0.46 <b>a</b>	0.87 ± 0.46 <b>a</b>	0.31 ± 0.20 <b>a</b>
	BO	5.61 ± 0.60 <b>a</b>	- 0.92 ± 0.50 <b>a</b>	0.92 ± 0.50 <b>a</b>	0.34 ± 0.30 <b>a</b>
<b>Prof. (cm)</b>	0-15	5.54 ± 0.49 <b>a</b>	- 0.86 ± 0.46 <b>a</b>	0.86 ± 0.46 <b>a</b>	0.35 ± 0.20 <b>a</b>
	15 - 30	5.40 ± 0.54 <b>a</b>	- 0.96 ± 0.55 <b>a</b>	0.96 ± 0.55 <b>a</b>	0.32 ± 0.28 <b>a</b>
<b>Media general</b>		5.47 ± 0.52	- 0.97 ± 0.50	0.91 ± 0.50	0.33 ± 0.24

Se muestra la estadística descriptiva de las variables químicas en diferentes condiciones forestales. Las letras diferentes muestran las diferencias estadísticamente significativas con la prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95 %. Prof: profundidad, pH: potencial de hidrógeno en agua, Δ pH: delta pH, CE: conductividad eléctrica, N: nitrógeno total, AP: área de aprovechamiento, SA: área sin aprovechamiento, SM: área sin manejo, BP: bosque de Pino, BPE: bosque de Pino -Encino, BO: bosque de Oyamel.

**Tabla 17. Estadística descriptiva de las características de la materia orgánica del suelo en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.**

Condición		C %	MOS (%)	C/N (%)
<b>Forestal</b>				
Manejo	SA	8.68 ± 2.52 <b>a</b>	14.97 ± 4.34 <b>a</b>	32.32 ± 19.04 <b>a</b>
	AP	8.25 ± 3.58 <b>a</b>	14.22 ± 6.17 <b>a</b>	25.50 ± 12.34 <b>a</b>
	SM	4.56 ± 2.84 <b>b</b>	7.87 ± 4.90 <b>b</b>	27.01 ± 17.40 <b>a</b>
Cobertura Vegetal	BP	8.58 ± 3.32 <b>a</b>	14.80 ± 7.72 <b>a</b>	30.90 ± 15.21 <b>a</b>
	BPE	6.55 ± 3.29 <b>b</b>	11.29 ± 5.68 <b>b</b>	29.66 ± 21.80 <b>a</b>
	BO	6.33 ± 3.58 <b>b</b>	10.91 ± 6.18 <b>b</b>	22.48 ± 12.02 <b>a</b>
Prof. (cm)	0-15	8.56 ± 3.60 <b>a</b>	14.76 ± 6.12 <b>a</b>	27.12 ± 10.61 <b>a</b>
	15 - 30	6.31 ± 3.16 <b>b</b>	10.82 ± 5.46 <b>b</b>	28.04 ± 19.50 <b>a</b>
<b>Media general</b>		7.44 ± 3.55	12.85 ± 6.13	27.58 ± 15.61

Se muestra la estadística descriptiva de las características de la materia orgánica en diferentes condiciones forestales. Las letras diferentes muestran las diferencias estadísticamente significativas con la prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95 %. Prof: profundidad, MOS: materia orgánica del suelo, C: carbono orgánico del suelo en porcentaje, C/N: relación carbono nitrógeno, AP: área de aprovechamiento, SA: área sin aprovechamiento, SM: área sin manejo, BP: bosque de Pino, BPE: bosque de Pino -Encino, BO: bosque de Oyamel.

### 1.- Densidad aparente.

La densidad aparente presenta una diferencia significativa de acuerdo con la vegetación, siendo el valor más alto el BPE (0.80 Mg m<sup>-3</sup>) con respecto al BP (0.65) y al BO (0.67). También presentó una diferencia significativa en la profundidad, tiene valores de 0.75 y 0.62 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente. Lo cual es esperado, debido a que en suelos bajo uso forestal a medida que se intensifica el manejo en los horizontes más superficiales existen incrementos de la densidad aparente (Álvarez – Arteaga et al., 2014), por lo que normalmente en un bosque conservado la capa superficial es la que tiene valores inferiores con respecto a los demás usos. En cuanto al manejo, no presentó diferencias significativas entre las tres zonas (AP, SA y SM) pero el valor de densidad aparente es ligeramente mayor en el área SA. El hecho de que no existan diferencias significativas en las zonas de manejo puede ser un reflejo de la capacidad amortiguadora o de resiliencia del sistema suelo, en particular en suelos volcánicos y con vegetación de bosque templado (Ríos, 2014). El valor de la densidad aparente en los BCSJC

permite inferir que la estructura del suelo es buena y por ende la circulación del aire y agua en el suelo también lo son, así como la capacidad de enraizamiento (Porta, 2013).

## **2.- Fragmentos gruesos.**

El porcentaje de fragmentos gruesos es importante para una correcta cuantificación del carbono orgánico por unidad de superficie, muchas bases de datos carecen del porcentaje en fragmentos gruesos da información valiosa en el suelo con cubiertas forestales cambiantes, en este caso los FG no tuvieron una diferencia significativa en alguna de las condiciones forestales, pero en la zona SM fue el valor mayor (32 %.).

### 3.- Textura y color.

**Tabla 18. Clase textural y color del suelo en el Área de Aprovechamiento (AP) y Bosque de Pino (BP).**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase textural
			H	V	Ch		
AP	BP	0 - 15	2.5Y	2.81	1.38	Café grisáceo muy oscuro	CL
AP	BP	15 - 30	2.5Y	2.87	1.46	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BP	0 - 15	2.5Y	3.72	1.85	Café grisáceo oscuro	L
AP	BP	15 - 30	2.5Y	3.74	2.12	Café grisáceo oscuro	CA
AP	BP	0 - 15	2.5Y	2.98	1.9	Café grisáceo muy oscuro	L
AP	BP	15 - 30	2.5Y	3.08	1.86	Café grisáceo muy oscuro	CL
AP	BP	0 - 15	2.5Y	2.38	1.84	Negro	CA
AP	BP	15 - 30	2.5Y	2.95	1.95	Café grisáceo muy oscuro	CL
AP	BP	0 - 15	2.5Y	2.80	1.40	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BP	15 - 30	2.5Y	3.70	1.84	Café grisáceo oscuro	CA
AP	BP	0 - 15	2.5Y	2.8	1.94	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BP	15 - 30	2.5Y	2.28	1.78	Negro	CL
AP	BP	0 - 15	2.5Y	2.7	1.92	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BP	15 - 30	2.5Y	3.12	1.92	Café grisáceo muy oscuro	CL
AP	BP	0 - 15	2.5Y	2.79	1.69	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BP	15 - 30	2.5Y	2.97	1.67	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BP	0 - 15	2.5Y	3.1	1.61	Café grisáceo muy oscuro	CA

**M: manejo, CV: cobertura vegetal, P: profundidad, H: hue, V: value, Ch: Chroma, AP: área de aprovechamiento, BP: bosque de Pino, L: limo, CL: franco limoso, CA: franco arenoso.**

**Tabla 19. Clase textural y color del suelo en el área de aprovechamiento y bosque de Pino Encino.**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase Textural
			H	V	Ch		
AP	BPE	0 - 15	2.5Y	4.04	2.43	Café grisáceo oscuro	CA
AP	BPE	15 - 30	2.5Y	3.65	2.4	Café grisáceo oscuro	CL
AP	BPE	0 - 15	2.5Y	3.09	2.43	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BPE	15 - 30	2.5Y	3.95	2.95	Café oliva	CL
AP	BPE	0 - 15	2.5Y	3.65	2.56	Café oliva	CA
AP	BPE	15 - 30	2.5Y	4.19	2.88	Café oliva	RA
AP	BPE	15 - 30	2.5Y	3.9	1.83	Café grisáceo oscuro	CRL
AP	BPE	0 - 15	2.5Y	4.10	2.44	Café oliva	CA
AP	BPE	15 - 30	2.5Y	3.50	2.76	Café grisáceo muy oscuro	C
AP	BPE	0 - 15	2.5Y	3.10	2.45	Café grisáceo oscuro	CA
AP	BPE	15 - 30	2.5Y	4.11	2.92	Café oliva	CA

**M: manejo, CV: cobertura vegetal, P: profundidad, H: hue, V: value, Ch: chroma, AP: área de aprovechamiento, BPE: bosque de Pino Encino, CL: franco limoso, CA: franco arenoso, C: franco, RA: arcillo arenoso, CRL: franco arcillo limoso.**

**Tabla 20. Clase textural y color del suelo en el área de aprovechamiento y Bosque de Oyamel.**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase Textural
			H	V	Ch		
AP	BO	0 - 15	2.5Y	3.13	1.85	Café grisáceo muy oscuro	CL
AP	BO	15 - 30	2.5Y	3.44	1.85	Café grisáceo muy oscuro	CL
AP	BO	0 - 15	2.5Y	3.11	1.88	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BO	15 - 30	2.5Y	3.39	1.9	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BO	0 - 15	2.5Y	3.05	1.77	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BO	15 - 30	2.5Y	3.17	1.73	Café grisáceo muy oscuro	CA
AP	BO	0 - 15	2.5 Y	3.12	1.80	Café grisáceo muy oscuro	CL
AP	BO	15 - 30	2.5 Y	2.70	1.91	Café grisáceo muy oscuro	CL

<b>AP</b>	<b>BO</b>	0 - 15	2.5Y	2.74	1.8	Café grisáceo muy oscuro	<b>CA</b>
<b>AP</b>	<b>BO</b>	15 - 30	2.5Y	3.17	1.99	Café grisáceo muy oscuro	<b>CL</b>
<b>AP</b>	<b>BO</b>	0 - 15	2.5Y	3.31	2.24	Café grisáceo muy oscuro	<b>CA</b>
<b>AP</b>	<b>BO</b>	15 - 30	2.5Y	3.73	2.46	Café oliva	<b>CL</b>
<b>AP</b>	<b>BO</b>	0 - 15	2.5Y	3.54	2.51	Café grisáceo muy oscuro	<b>CL</b>
<b>AP</b>	<b>BO</b>	15 - 30	2.5Y	5.14	2.65	Café oliva	<b>CA</b>
<b>AP</b>	<b>BO</b>	0 - 15	2.5Y	3.92	2.67	Café oliva	<b>CL</b>
<b>AP</b>	<b>BO</b>	15 - 30	2.5Y	4.14	2.72	Café oliva	<b>CL</b>

**M: manejo, CV: cobertura vegetal, P: profundidad, H: hue, V: value, Ch: chroma, AP: área de aprovechamiento, BO: bosque de Oyamel, CL: franco limoso, CA: franco limoso.**

**Tabla 21. Clase textural y color del suelo en el Área sin Aprovechamiento (SA) y Bosque de Pino (BP).**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase textural
			H	V	Ch		
SA	BP	0 - 15	2.5Y	2.88	1.8	Café grisáceo muy oscuro	CA
SA	BP	0 - 15	2.5Y	2.99	1.86	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	15 - 30	2.5Y	3.3	1.89	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	0 - 15	2.5Y	3.04	1.83	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	15 - 30	2.5Y	3.34	1.93	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	0 - 15	2.5Y	3.13	2	Café grisáceo muy oscuro	CA
SA	BP	15 - 30	2.5Y	3.3	2.06	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	0 - 15	2.5Y	3.18	1.73	Café grisáceo muy oscuro	CA
SA	BP	15 - 30	2.5Y	3.59	1.98	Café grisáceo oscuro	CL
SA	BP	0 - 15	2.5Y	2.64	1.5	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	15 - 30	2.5Y	3.2	2.09	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	0 - 15	2.5Y	3.1	2.07	Café grisáceo muy oscuro	CA
SA	BP	15 - 30	2.5Y	2.36	1.82	Negro	CA
SA	BP	0 - 15	2.5Y	3.12	2.14	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BP	15 - 30	2.5Y	3.01	1.68	Café grisáceo muy oscuro	CA

**M: manejo, CV: cubierta vegetal, P: profundidad, H: hue, V:value, Ch:chroma, SA: área sin aprovechamiento, BP: bosque de Pino, L: limoso, CL: franco limoso, CA: franco arenoso.**

**Tabla 22. Clase textural y color del suelo en el área sin aprovechamiento y bosque de Oyamel.**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase Textural
			Hu	Va	Ch		
SA	BO	0 - 15	2.5Y	2.96	1.67	Café grisáceo muy oscuro	L
SA	BO	15 - 30	2.5Y	3.3	1.84	Café grisáceo muy oscuro	CL
SA	BO	0 - 15	2.5Y	3.68	2.75	Café oliva	CA
SA	BO	15 - 30	2.5Y	3.97	2.99	Café oliva	CA
SA	BO	0 - 15	2.5Y	3.23	1.99	Café grisáceo muy oscuro	CA
SA	BO	15 - 30	2.5Y	3.97	2.21	Café grisáceo oscuro	AC

**M: manejo, CV: cubierta vegetal, P: profundidad, H: hue, V: value, Ch: Chroma, SA: área sin aprovechamiento, BO: bosque de Oyamel, L: limoso, CL: franco limoso, CA: franco limoso, AC: areno franco.**



**Tabla 23. Clase textural y color del suelo en el área sin manejo y bosque de Pino.**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase Textural
			H	V	Ch		
SM	BP	0 - 15	2.5Y	4.29	2.98	Café Oliva	CL
SM	BP	15 - 30	2.5Y	3.98	2.02	Café oscuro grisáceo	CA
SM	BP	15 - 30	2.5Y	4.39	3.01	Café Oliva	CRA
SM	BP	0 - 15	2.5Y	3.82	2.15	Gris oliva	CL
SM	BP	15 - 30	2.5Y	4.33	2.70	Café Oliva	CL
SM	BP	0 - 15	10.0YR	4.36	2.61	Café oliva	CA
SM	BP	15 - 30	2.5Y	3.78	2.33	Café oscuro grisáceo	CA
SM	BP	0 - 15	2.5Y	3.74	2.01	Café oscuro grisáceo	CL
SM	BP	15 - 30	2.5Y	3.61	2.18	Café oscuro grisáceo	CA

M: manejo, CV: cubierta vegetal, P: profundidad, H: hue, V: value, Ch: chroma, SM: área sin manejo, BP: bosque de Pino, CL: franco limoso, CA: franco arenoso, CRA; franco arcillo arenoso.

**Tabla 24. Clase textural y color del suelo en el área sin manejo y bosque de Pino – Encino.**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase Textural
			H	V	Ch		
SM	BPE	0 - 15	2.5Y	3.16	2.26	Café grisáceo muy oscuro	CL
SM	BPE	15 - 30	2.5Y	3.8	2.6	Café oliva	CL

M: manejo, CV: cubierta vegetal, P: profundidad, H: hue, V: value, Ch: chroma, SM: área sin manejo, BPE: bosque de Pino Encino, CL: franco limoso.

**Tabla 25. Clase textural y color del suelo en el área sin manejo y bosque de Oyamel.**

M	CV	P	Color Munsell			Color	Clase Textural
			H	V	Ch		
SM	BO	0 - 15	2.5Y	4.16	2.88	Café oliva	CA
SM	BO	15 - 30	2.5Y	3.23	2.39	Café grisáceo muy oscuro	C
SM	BO	0 - 15	2.5Y	3.79	2.13	Café grisáceo oscuro	CL
SM	BO	0 - 15	2.5Y	4.96	2.75	Café oliva	CL
SM	BO	15 - 30	2.5Y	4.56	3.63	Café oliva claro	CA
SM	BO	0 - 15	2.5Y	3.59	2.29	Café grisáceo oscuro	CA
SM	BO	15 - 30	2.5Y	3.83	2.27	Café grisáceo oscuro	L
SM	BO	0 - 15	2.5Y	3.26	1.77	Café grisáceo muy oscuro	CL
SM	BO	15 - 30	2.5Y	4.49	2.39	Café grisáceo oscuro	CR
SM	BO	0 - 15	2.5Y	3.91	2.35	Café grisáceo oscuro	AC
SM	BO	15 - 30	2.5Y	4.71	3.08	Café oliva	CRL

**M: manejo, CV: cobertura vegetal, P: profundidad, H: hue, V: value, Ch: chroma, SM: área sin manejo, BO: bosque de Oyamel, L: limoso, CL: franco limoso, CA: franco arenoso, AC: areno franco, CRL: franco arcillo limoso.**

#### **4.- pH y $\Delta$ pH**

El pH del suelo medido en agua con relación 2:1, no muestran una diferencia significativa en las condiciones forestales. En general, los suelos de este estudio son moderadamente ácidos, ya que los valores se encuentran entre 5.4 – 6.5 según la NOM-021-RECNAT-2000 y Castellanos et al., (2000). Debido a los valores altos del carbono orgánico del suelo se puede decir que el pH tiene una buena capacidad buffer generando solo cambios pequeños en diferentes condiciones forestales. Estos valores concuerdan con lo reportado por Cruz y Etchevers, (2011) (**Tabla2**). En cuanto a los resultados del pH medido con KCl (relación 2:1) tampoco se muestra una diferencia estadística en las condiciones forestales (Castellanos et al., 2000; NOM – 021 -RECNAT-2000). El  $\Delta$  pH sirve para determinar si el suelo es de carga variable, normalmente en los suelos de material volcánico la carga superficial es positiva. El  $\Delta$  pH varía entre 0 a -2.4 con una media de 0.9, la magnitud del  $\Delta$  pH está en función del tamaño de las partículas minerales. En este caso son mayores a – 0.5 por lo que se evidencia que el suelo es predominante en carga variable y por lo tanto tiene gran cantidad de coloides y minerales de rango corto o alofánicos (Ríos, 2014).

#### **4.- Conductividad eléctrica.**

La conductividad eléctrica en los suelos de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc presenta una media de  $0.91 \pm 0.50$ , de acuerdo con la NOM – 021 los suelos no son salinos. El análisis de varianza muestra que no existe una diferencia significativa entre las condiciones forestales.

#### **5.- Nitrógeno total.**

En los suelos de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc la media del nitrógeno total es de 0.33 %, valor que se ajusta a lo reportado por Meurisse (1985) y Aguilera (1989), quienes dan valores en suelos forestales derivados de materiales piroclásticos entre 0.01 - 0.5 %. Los resultados del porcentaje de nitrógeno no presentaron una diferencia estadística por condición forestal.

#### **6.- Materia y carbono orgánico del suelo.**

El carbono orgánico del suelo es importante ya que como parte de la materia orgánica del suelo influye en las propiedades del suelo como la estructura, la capacidad de intercambio catiónico, la densidad aparente, porosidad y la infiltración. Los suelos forestales de zonas templadas suelen presentar niveles altos de materia orgánica, debido a que la tasa de

mineralización es más baja por la temperatura presente en estos bosques. Los suelos de los BCSJC están determinados por su material parental, es decir los materiales volcánicos, los cuales se han definido como suelos minerales que presentan un contenido de materia orgánica cerca o mayor al promedio del 8 %, con niveles superiores al 30 %, siendo por lo tanto la acumulación del humus una característica en suelos derivados de materiales piroclásticos (Leamy et al., 1980; Wada, 1985).

De acuerdo con las categorías de la norma NOM – 021- RECNAT – 2000, los suelos bajo manejo se encuentran en medio (ME) para el área sin aprovechamiento y con aprovechamiento, mientras que, el área sin manejo está dentro de la categoría Bajo (B) presentando una diferencia significativa entre grupos. De acuerdo con la vegetación, el bosque de Pino – Encino y el bosque de Oyamel están dentro de la categoría ME y el bosque de Pino en Alto (A), con diferencias significativas. De acuerdo con la profundidad la diferencia se encuentra las muestras más superficiales que tienen un contenido de materia orgánica A y de 15 a 30 cm es ME.

De acuerdo con la clasificación de Castellanos *et al* (2000) para Andosols la clasificación se encuentra desde bajo (B) con 2.1 – 3.5 % y muy alto (MA) con porcentajes mayores a 15. Así mismo es importante señalar que en el análisis de varianza con los tres factores, la MOS es distinta significativamente en cuanto al manejo, vegetación y profundidad. Lo mismo sucede con los resultados del porcentaje de carbono orgánico (**Tabla 16**). La MOS tiende a decrecer en su cantidad conforme aumenta la profundidad (Jaramillo, 2002), en Andosols del Cofre de Perote se han reportado valores de MOS de 16.3 - 1.5 %, con vegetación de arbustos (Quantin, 1988). Los valores encontrados en este estudio también concuerdan con el trabajo de Arteaga y Moreno (2006), quienes encontraron valores de 8.11 y 5.08 para Andosoles del Estado de México con vegetación de Pino y Oyamel respectivamente, en las áreas de bosque de Oyamel señala que los primeros horizontes son profundos con gran incorporación de materia orgánica, lo cual se relaciona con una alta actividad fúngica. De la misma manera, se reporta en Andosols de la Ciudad de México un intervalo de 14.95 a 21.86 % en bosque de Pino y pastizal subalpino Pérez et al., (2009). Los datos encontrados en los BCSJC son importantes, pues presenta altos contenidos de MOS de esta manera se mantienen las propiedades fisicoquímicas del suelo, se mejora la mitigación del CO<sub>2</sub> atmosférico al secuestrar mayor cantidad en esta área por lo tanto que genera un esquema de “ganar – ganar” entre seguridad edáfica, hídrica, cambio climático, mejora de servicios ecosistémicos y por ende un bienestar social (Paz *et al.*, 2016).

## 8.- Relación C/N.

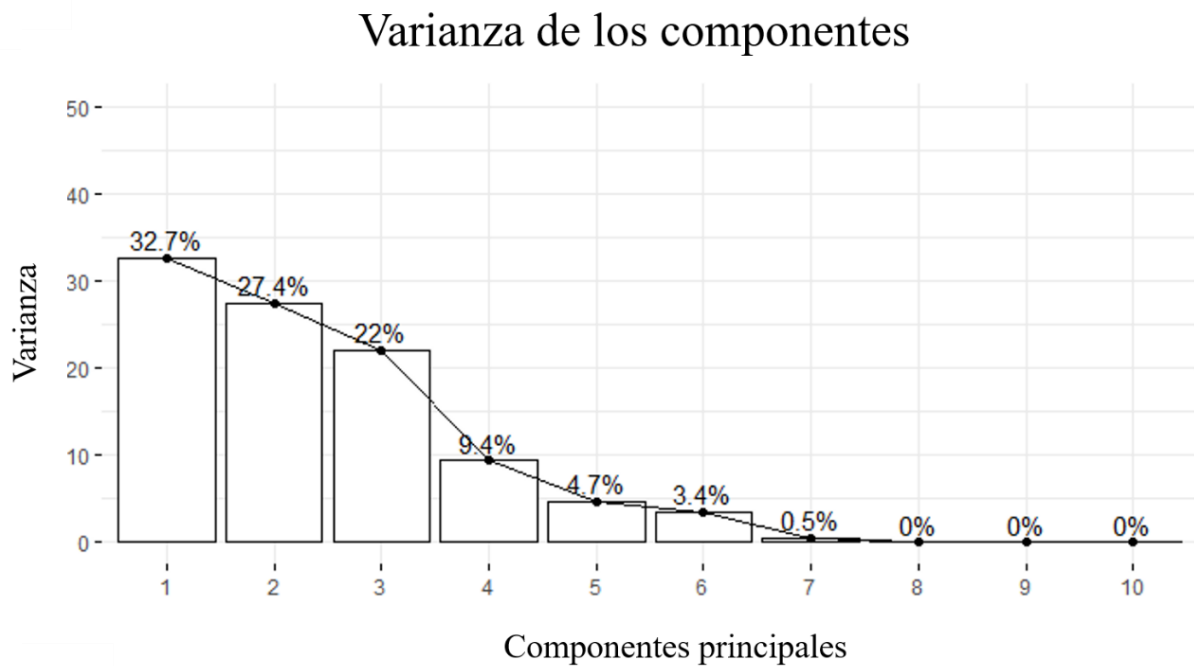
Los valores de la relación carbono nitrógeno en los Bienes Comunales de San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan presenta una media de 27.59, valor mayor al reportado por Finzi, C. A., Breemen, V. N y Canham, D. C. (1998) en este estudio el NT no presentó diferencias significativas en ninguno de los factores al igual que en el estudio de Gómez *et al.*, (2010). La relación C/N en diferente condición forestal es mayor en el área de aprovechamiento con valores por arriba de 40, el cual es alto. Con este resultado se sabe que del suelo depende directamente de la cantidad de N debido a que las relaciones C/N altas mayores de 30:1 limitan la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de N. También se debe de contemplar que los tipos de humus mull forestal o moder son lo que presentan un porcentaje mayor de mineralización, como en este caso (García y Velasco, 1985). La relación C/N de acuerdo con el tipo de vegetación fue en el bosque de Pino – Encino, se sabe que el tipo de fenología en la vegetación de la planta tiene relación directa con la calidad de la hojarasca. El bosque de Encino captura un poco más de carbono en el suelo que el bosque de Pino, las características de los Pinos es que sus hojas son aciculadas y poseen mucha lignina, los Encinos poseen hojas coriáceas que no tienen buena descomposición.

### 5. 2. 3. 1.-Determinación de variables físicas y químicas más importantes en el suelo.

Con los resultados obtenidos de las pruebas físicas y químicas de los suelos de los BCSJC se realizó un análisis de componentes principales para después analizar la relación con el carbono orgánico del suelo , con las variables estandarizadas, para seleccionar aquellas con mayor peso en los componentes principales que expliquen al menos más del 70 % de la varianza total explicada y dejarlas como variables importantes para la explicación de la variabilidad de las propiedades físicas y químicas del suelo y así relacionarlas con el COS.

La reducción adecuada de la base de datos se hizo por medio de la técnica de valores propios que implica 1) identificar la importancia de los componentes principales, 2) reducir la dimensión por algún criterio, se utilizó el criterio de Kaiser, por lo que se excluyeron todos los componentes principales con valores propios menores de 1, en la **Tabla 25** se muestran dichos componentes, en la primera fila se muestran los componentes principales, en la segunda fila la se describe para cada valor propio la proporción de la varianza explicada y en la tercera fila la proporción acumulada.

Esta elección se respalda con el gráfico de la sedimentación (**Figura 10**) en el cual se observa que el primer componente principal (CP) explica un 32.7 % de la varianza, el segundo 27.4 % y la tercera un 22 %, por lo tanto, con las tres primeras componentes principales se obtiene un 82 % de la varianza total acumulada explicada (**Tabla 25**). Con la información de la **Tabla 26** se seleccionaron las variables más relevantes en los tres componentes principales, teniendo en cuenta la magnitud y dirección del vector respectivo, así como la relación con vectores cercanos. Las propiedades seleccionadas son la relación carbono nitrógeno, los fragmentos gruesos y la elevación en el CP 1, se puede observar que en el gráfico del círculo de correlaciones (**Figura 11**) que la variable elevación tiene una dirección opuesta debido a que su valor es negativo (-0.48), en el CP 2 las variables más importantes son C y MOS (%), mientras que en el CP 3 las variables de mayor peso son el  $\Delta$  pH y CE.



**Figura 11. Gráfico de sedimentación de la varianza de los componentes, muestra la acumulación.**

**Tabla 26. Valores propios para elegir los Componentes Principales.**

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
<b>Valor propio</b>	<b>1.82</b>	<b>1.65</b>	<b>1.48</b>	0.96	0.68	0.58	0.21	0.04	0.00	0.00
<b>% de varianza</b>	3.26	2.73	2.20	9.36	4.66	3.42	4.71	2.18	4.88	2.06
<b>% de la varianza acumulada</b>	32.67	60.04	82.05	91.41	96.07	99.50	99.97	100	100	100

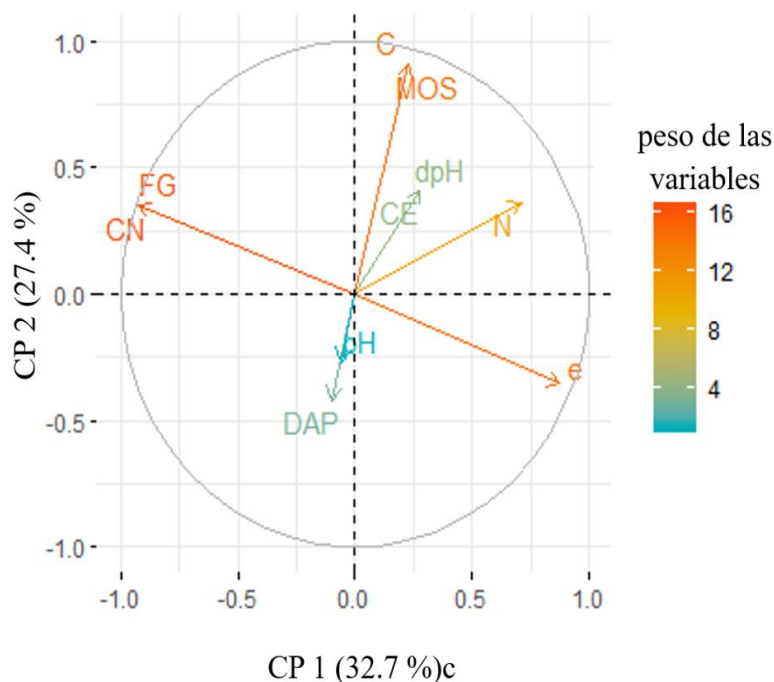
Con las tres primeras componentes principales se obtiene un 82 % de la varianza total acumulada explicada. Los valores en negritas representan los valores mayores a 1 según el criterio de Kaiser.

**Tabla 27. Pesos de los componentes en los tres primeros componentes principales.**

Variable	PC 1	PC 2	PC 3
MOS	-0.12	<b>0.54</b>	0.17
C	-0.12	<b>0.54</b>	0.17
DAP	0.05	-0.25	-0.07
pH	0.35	-0.16	-0.52
$\Delta$ pH	-0.15	0.247	<b>-0.56</b>
CE	-0.15	0.24	<b>-0.56</b>
NT	-0.39	0.21	0.08
C/N	<b>0.51</b>	0.21	-0.04
E	<b>-0.48</b>	-0.21	0.06
FG	<b>0.51</b>	0.21	-0.04

Los valores que están en negritas son los que tienen mayor peso o contribución en cada componente principal. MOS: materia orgánica del suelo (%), C: carbono orgánico (%), DAP: densidad aparente, CE: conductividad eléctrica, NT: nitrógeno total, C/N: relación carbono nitrógeno, E: elevación, FG: fragmentos gruesos.

## VARIABLES DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES



**Figura 12.** Círculo de correlaciones de las variables más importantes en el ACP. dpH:  $\Delta$  pH, e: elevación.

### 5. 2. 3. 2.- Análisis de regresión múltiple de las variables más importantes con el COS.

Con las variables más importantes del Análisis de Componentes Principales se realizó un análisis de regresión múltiple para saber si existe una relación entre estas propiedades del suelo (FG, C/N) y una variable ambiental (elevación: E) con el carbono orgánico del suelo (ton/ha). A continuación, se muestran los resultados obtenidos al hacer un análisis de regresión lineal múltiple con las variables descritas anteriormente, la ecuación obtenida fue la siguiente:

$$\text{COS} = -977.52 + 17.03 \text{ FG} + -16.53 \text{ C/N} + 0.3612 \text{ E}$$

La **Tabla 28** muestra los coeficientes del modelo de regresión, el error estándar para cada coeficiente, así como el estadístico *t de Student* con sus correspondientes valores de p, en donde podemos observar que el coeficiente obtenido para la variable elevación contribuye en forma significativa ya que  $p < 0.05$ . Puede apreciarse que el modelo de regresión lineal obtenido no tiene un buen ajuste, dado que el coeficiente de determinación es  $R^2 = 0.14$ , es decir; el 14 % de la variabilidad de los datos queda explicado, por otra parte, el coeficiente de determinación



ajustado solo alcanza el 0.004; pero la prueba  $F$  es significativa ya que el  $p$  – valor empírico es menor que el valor de  $\alpha = 0.05$ .

Para profundizar en el análisis de los supuestos requerimos indagar en la existencia de multicolinealidad, como podemos observar en la (**Tabla 2**) los valores de VIF (Factor de Inflación de la Varianza) en la variable FG y C/N es muy alto, lo cual señala que existe un problema serio de multicolinealidad.

**Tabla 28. Modelo de Regresión Lineal Múltiple.**

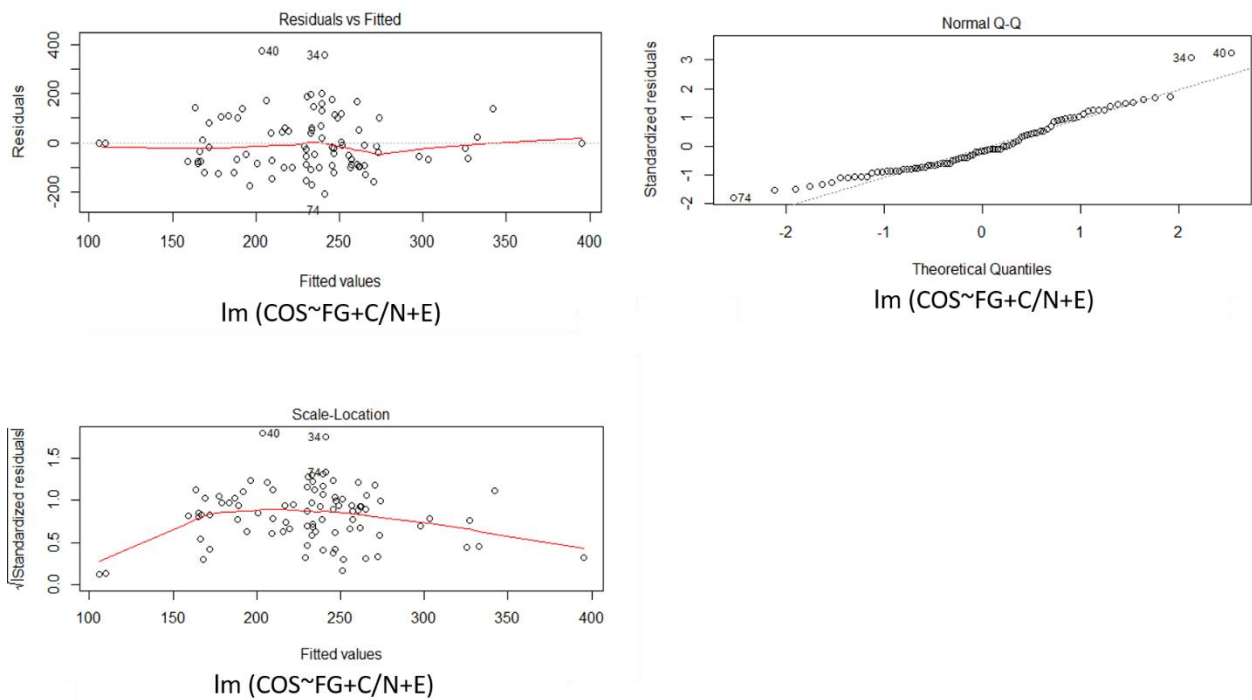
Predictor	Estimado	Error estándar	Valor de T	p-valor	Sig.	Vif
<b>Intercepto</b>	-977.52	352.21	-2.77	0.006	**	
<b>FG</b>	17.03	11.76	1.44	0.151		241.85
<b>C/N</b>	-16.53	11.76	-1.40	0.163		214.85
<b>E</b>	0.3612	0.10	3.46	0.000	***	1.00

Código de significancia: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1.

Error residual estándar: 116.9 con 84 grados de libertad, R-cuadrada multiple: 0.1438, R- cuadrada ajustada: 0.1132, F- estadística: 4.702 con 3 y 84 grados de libertad, p - valor: 0.004391

**FG: fragmentos gruesos, C/N: relación carbono nitrógeno, E: elevación (msnm), Sig: código de significancia (\*\*p < 0.001, \*\*p < 0.01, \*p < 0.05).**

El análisis de los supuestos del modelo, referidos a la normalidad y homogeneidad de varianzas en los residuos, pueden observarse en la Figura 12, en donde se muestra que dichos supuestos no se cumplen.



**Figura 13. Gráficos de sedimentación del modelo de regresión lineal múltiple.**

#### **5. 2. 4.- Análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y Carbono Orgánico del Suelo.**

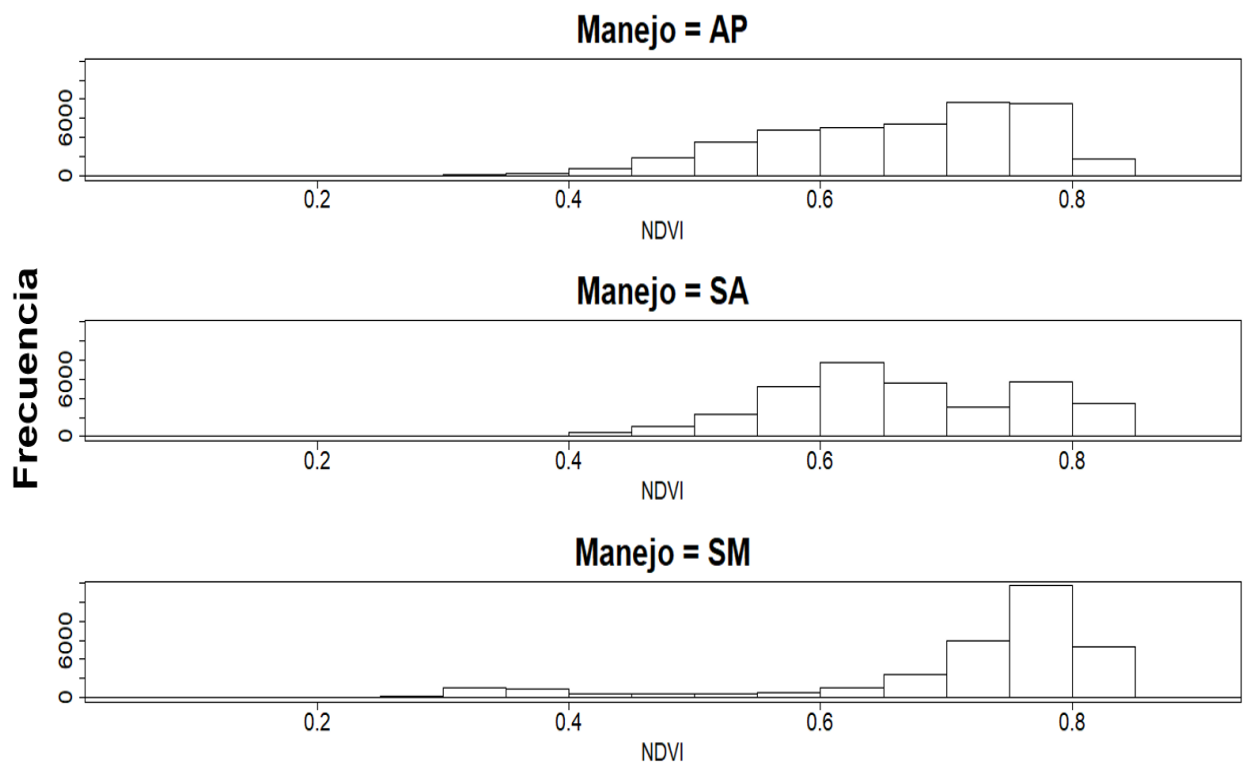
El NDVI se calculó con la herramienta *Ráster calculator* del Sistema de Información Geográfica *Quantum Gis versión 2.18.14 "Las Palmas"* (Quantum GIS Development Team, 2018). La calculadora ráster permitió realizar operaciones matemáticas en cada píxel de las bandas 4 y 8 de la imagen satelital Sentinel 2, usando la ecuación de Rouse *et al.*, (1974).

Se obtuvieron 103,762 valores de píxeles del índice de vegetación normalizado. La **Tabla 27** muestra la distribución de los valores del NDVI que van de 0.09 a 0.87. En la **Figura 16** se observa que los valores que van de 0 – 0.2 muestran tonalidades rojas y son áreas desprovistas de vegetación, posiblemente suelo erosionado. Los valores con tonalidad amarilla representan las áreas de transición de vegetación primaria a secundaria, es decir, encontramos pastizales y arbustos, está representada por el área sin aprovechamiento. Por otra parte, los valores cercanos a 1 representan vegetación con alta radiación fotosintéticamente activa, estos valores se muestran con tonalidad verde y corresponde a áreas completamente cubiertas por vegetación, con mejor estado fitosanitario y vigorosidad, el área de aprovechamiento y sin manejo tienen valores entre 0.6 a 0.85.

Se realizó una interpolación IDW con el Sistema de Información Geográfica *Arc Gis 10.3* a partir de los datos de carbono orgánico del suelo (ton/ha) para poder realizar el análisis de la relación del COS con el NDVI, en la **Tabla 27** se muestra la estadística descriptiva de los datos obtenidos por la interpolación del carbono orgánico del suelo.

**Tabla 29. Estadística descriptiva de NDVI y COS (ton/ha).**

	Número de píxeles	mínimo	máximo	media
<b>NDVI</b>	103,762	0.09	0.87	0.67 ± 0.11
<b>COS (ton/ha)</b>	103,762	0.0	480	230 ± 72



**Figura 14. Histograma del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada por manejo en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc.**

**Tabla 30. Porcentaje por área de manejo en la clasificación del NDVI.**

NDVI	Manejo		
	AP	SA	SM

<b>Bajo</b>	0.01 %	0 %	0.06 %
<b>Medio</b>	27.75 %	24.02 %	12.20 %
<b>Alto</b>	72.23 %	75.98 %	87.72 %
<b>Total</b>	100 %	100 %	100 %

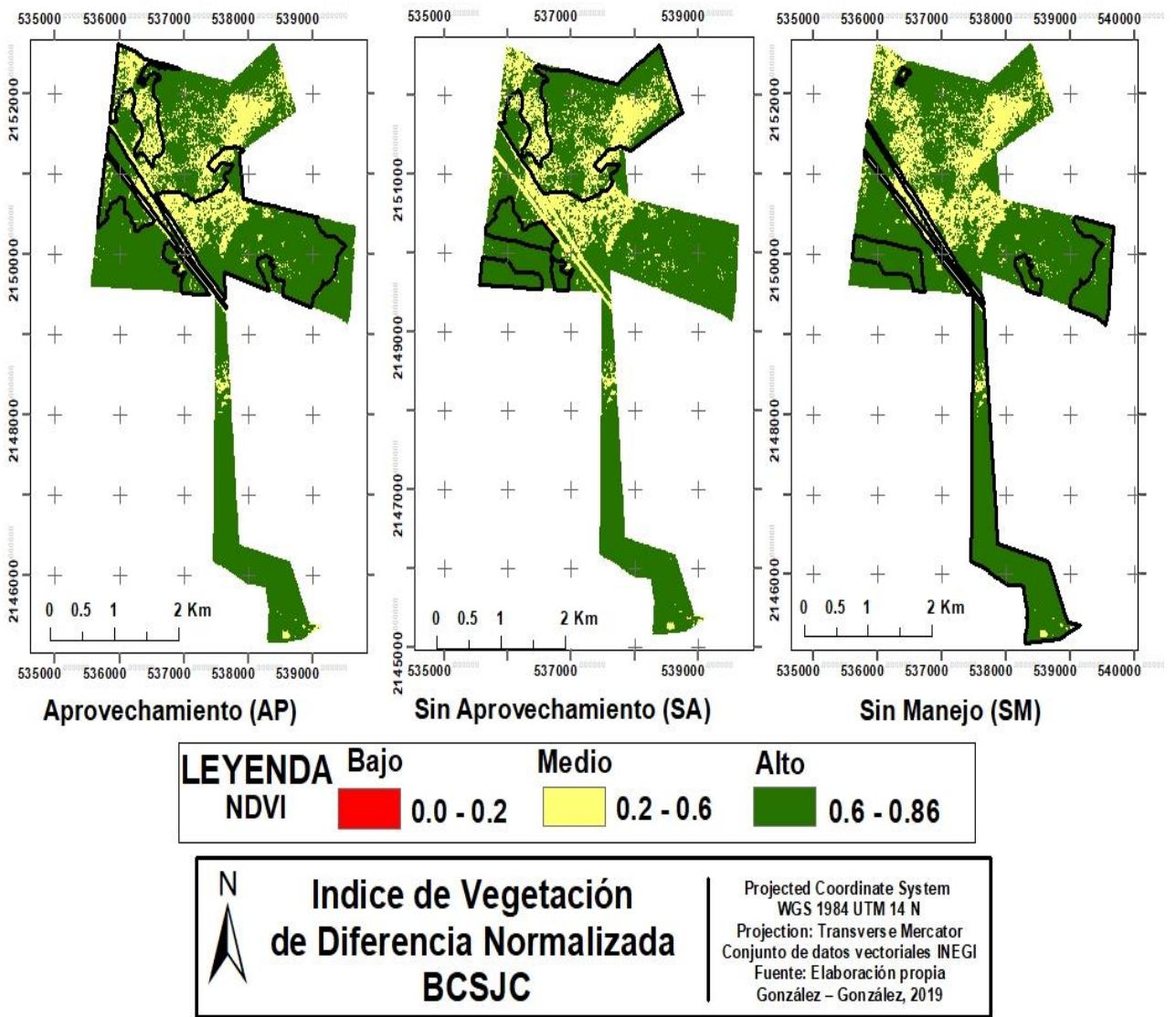


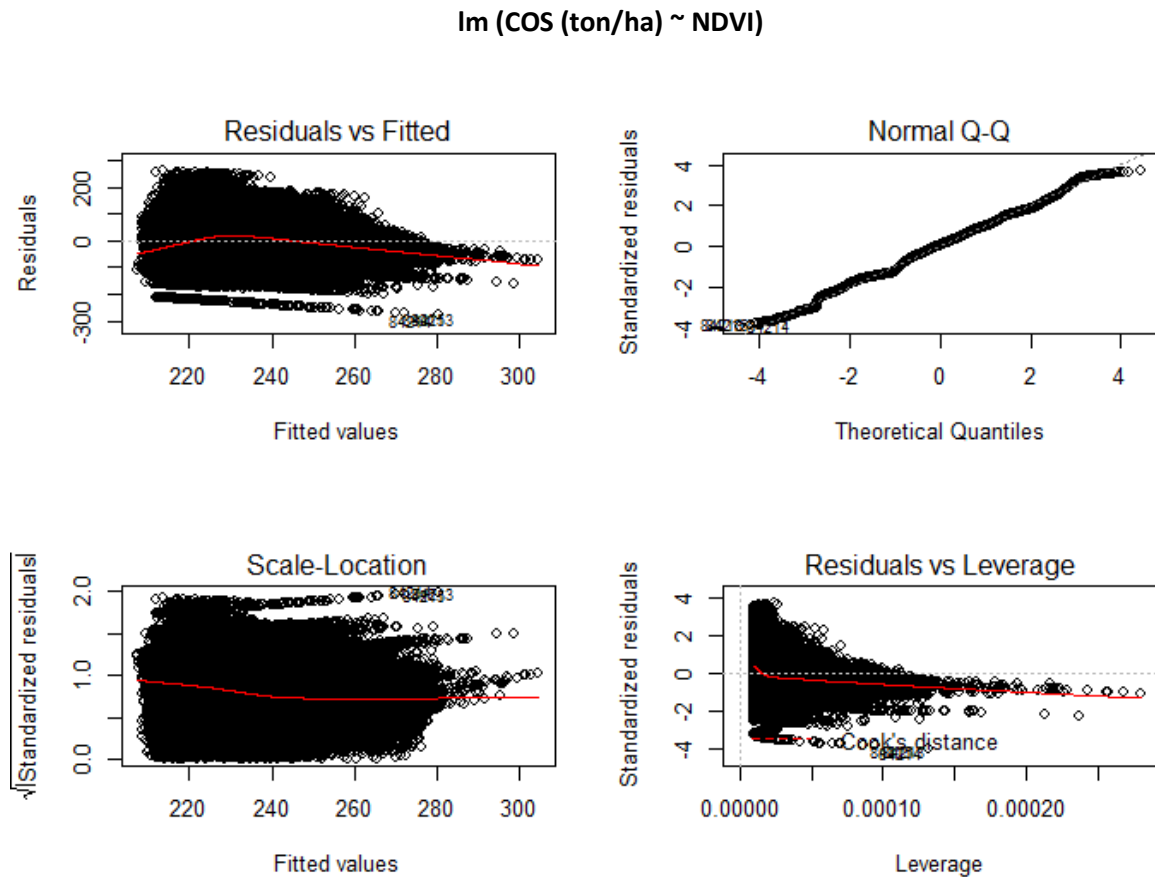
Figura 15. Distribución espacial del NDVI en los Bienes Comunales San Juan Cauhtémoc.

5. 2. 4. 1.- Modelo lineal simple.

Se realizó un análisis de regresión lineal simple en donde la ecuación de la regresión estimada es:

$$\text{COS (ton/ha)}_{\text{est}} = 315 - 125 \text{ NDVI}$$

La prueba F es significativa, ya que el estadístico F indicó un valor de  $p < 0.05$ , por lo que el modelo posee un buen ajuste lineal. La **Figura 14** muestra las gráficas de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se cumplen. Además, se aplicó la prueba de Levene para corroborar la homogeneidad de varianzas con la hipótesis nula  $H_0$ = hay homogeneidad de varianzas contra la  $H_a$ = no hay homogeneidad de varianzas. Los resultados muestran una  $p < 0.05$  por lo que se acepta la  $H_a$ .



**Figura 16.** Gráficos de sedimentación del modelo de regresión lineal.

#### 5. 2. 4. 2- Análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

Se usaron pruebas de hipótesis estadísticas para comparar las medias del NDVI por manejo y las medias de COS (ton/ha) por manejo en donde la hipótesis nula  $H_0$ = todas las medias de los grupos son iguales contra la hipótesis alternativa  $H_a$ = al menos una de las medias de los grupos es distinta. En la **Tabla 31** se muestra la estadística descriptiva del NDVI y el COS según el manejo. Los resultados del análisis de varianza muestran una diferencia significativa en el NDVI por tipo de manejo  $p < 0.05$ , por lo que se acepta la hipótesis alternativa. Posteriormente

se realizó un análisis de contrastes de medias de Tukey en donde se muestra que existe una diferencia significativa entre el área sin manejo y el área de aprovechamiento y el área sin manejo y el área sin aprovechamiento (**Tabla 31**).

De la misma forma se realizó un análisis para comparar las medias de COS (ton/ha) por tipo de manejo, los resultados muestran una diferencia significativa en el COS (ton/ha) por manejo  $p < 0.05$ , la diferencia se encuentra entre el área sin manejo y el área sin aprovechamiento y el área sin manejo y el área aprovechada (**Tabla 31**).

**Tabla 31. Media y desviación estándar de COS y NDVI por manejo.**

Manejo	Número de píxeles	COS (ton/ha)	NDVI
AP	38688	246.96 ± 45.57 a	0.66 ± 0.10 a
SA	34729	260.36 ± 68.86 a	0.66 ± 0.09 a
SM	30345	176.29 ± 73.33 b	0.71 ± 0.12 b

**Se muestra la estadística descriptiva del COS (ton/ha) y del NDVI. Las letras diferentes muestran las diferencias estadísticamente significativas con la prueba de Tukey, con un intervalo de confianza del 95 %.**

### 5. 2. 5.- Análisis de la percepción social.

Desde 1947, los predios que ahora son de los comuneros eran privados y formaron parte de la Unidad Industrial de Explotación Forestal de San Rafael. Los comuneros comenzaron las actividades de aprovechamiento forestal de manera independiente en 1994, cuando se autorizó el Programa de Manejo Forestal de la CONAFOR, en 1999 se suspendió el aprovechamiento. En 2002 se realiza otro aprovechamiento por contingencia a causa del arbolado derribado por el viento. El Programa de Manejo Forestal Modificado autorizó el aprovechamiento para 7 anualidades, del 2002 – 2003 a 2008 – 2009, se aprovecharon 7086 m<sup>3</sup> de madera en rollo total árbol Márquez *et al*, (2009).

Existe una propuesta de ordenamiento territorial comunitario (OTC) con el fin de gestionar los bienes naturales en los BCSJC. La propuesta se enfoca en la protección de las zonas forestales más frágiles, por lo que hay una zonificación de las áreas de acuerdo con la actividad económica más importante, estas áreas fueron nombradas Unidades de Gestión Ambiental (UGA'S) y son las siguientes: Zona de conservación, zonas de aprovechamiento, zona de aprovechamiento restringido, zonas de protección, zona de restauración y brechas. El ordenamiento se realizó mediante estudios de uso de suelo de los bienes comunales (Márquez

*et al.*, 2009). Actualmente dicho ordenamiento territorial comunitario no se implementa en su totalidad, solo impulsaron las actividades ecoturísticas como la venta de truchas, el restaurante y las cabañas. Las actividades forestales se siguen llevando a cabo en todo el predio designado a esta actividad, ya que en el año 2012 se aprobó el Plan Anual de Cortas para comenzar en agosto. Los bienes comunales reciben \$300.00/ha por pago por servicios ambientales por lo que las actividades en el predio las destinan a mantener sus condiciones realizando tareas como: brechas contra fuego, brigadas contra incendios, etcétera. También han recibido recursos económicos por parte de la purificadora de agua Santa María, debido a que esta purificadora hace uso del agua que es captada en la micro – cuenca colotzi. En el predio existen algunas zonas que han sido reforestadas con plantas donadas por CONAFOR, recientemente ha incrementado su interés por tener un vivero propio. Existen diversas problemáticas que complican el análisis profundo de la interacción sociedad naturaleza, una, por ejemplo, es que el predio es paso de Huachicoleros, existen actividades de extracción de arena y tierra de monte para su venta, aunque la actividad de extracción de arena fue prohibida en el año 2008.

### **I. Información cultural, educacional y económica.**

Se aplicaron las encuestas de forma directa a 16 informantes clave, de los cuales el 100 % son hombres, esto es importante de considerar ya que las actividades forestales, principalmente en el aprovechamiento forestal no existe una interacción dinámica entre los sistemas de género y los procesos territoriales, esto sugiere que no existe equitatividad entre la distribución las tareas y los ingresos económicos en las familias de los BCSJC, estando entonces más alejados de procesos y resultados equitativos y sostenibles. (Paulson, 2013). La edad de los informantes clave se encuentra en un porcentaje del 37.5 % en un rango de los 30 – 50 años, el resto (62.5 %) entre los 51 y 70 años. El nivel de estudios fue el siguiente: el 62 % estudió la primaria, seguido de la secundaria (25 %), después el bachiller y ningún estudio (6.25 %) respectivamente. Normalmente los hombres inician a más temprana edad los estudios, tienden a aplazarlos y los abandonan con mayor facilidad que las mujeres, debido a que los hombres a temprana edad buscan oportunidades de trabajo en el extranjero (Milosavljevic, 2007; Márquez *et al.*, 2009). La principal fuente de ingresos económicos de los informantes clave es por medio de la agricultura (75 %), seguido del aprovechamiento forestal (19 %) y por último la venta de truchas (6 %).



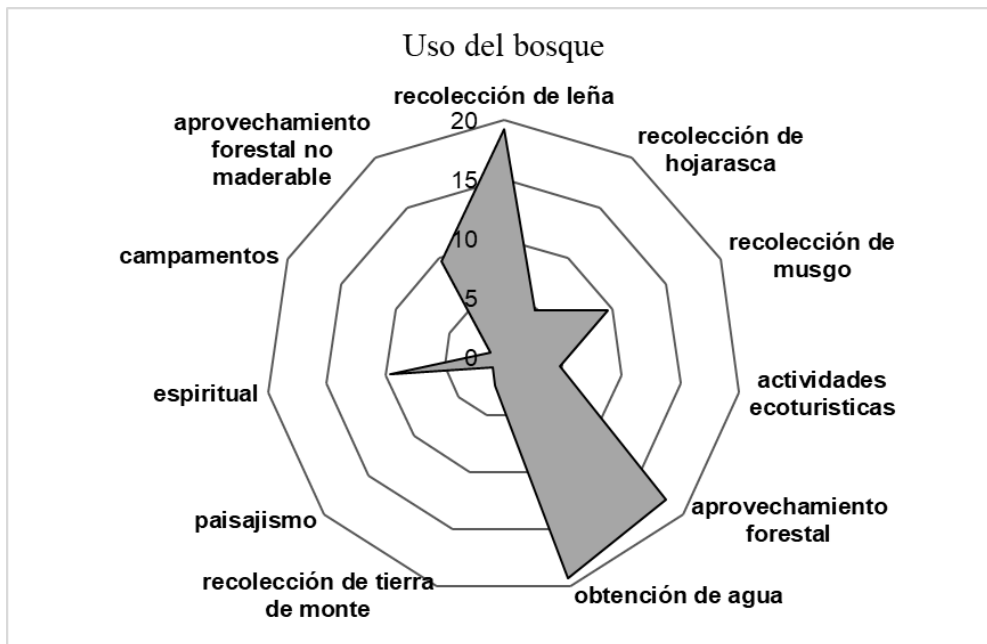


**Imagen 11. Aplicación de encuesta a uno de los informantes clave en los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc.**

## **II. El bosque como servicio ecosistémico de provisión.**

Los informantes clave tienen la percepción de que el bosque es en escala de importancia: muy importante (MI), importante (I), moderadamente importante (MDI), poco importante (PI) y nada importante (NI), en un 75 % se percibe que es MI, el 19 % I y el 6 % MDI. Los comuneros reconocen en un 94 % que hacen uso del bosque y el resto (6 %) contestó que a veces hacen uso, siendo la obtención de agua (19 %), la recolección de leña con un mismo porcentaje al anterior y el aprovechamiento forestal (18 %) los de mayor uso en los BCSJC (**Figura 20**).





**Figura 17. Uso del bosque para los BCSJC, siendo el uso más importante la obtención de agua.**

La percepción hacia los servicios ecosistémicos forestales fue: el oxígeno en un 35 %, el agua en un 33 %, en un 15 % las plantas medicinales, la generación del suelo 13 %, alimento en un 4 % y para recreación y diversión y mantenimiento de la biodiversidad no se obtuvo ninguna respuesta. En cuanto a los bienes ecosistémicos se percibe que en un 33 % el agua para beber es la más importante, la leña en un 24 %, madera (20 %), los productos no maderables (13 %), forraje (4 %), tierra negra (2 %), excavación de tierra (2 %), para recursos genéticos no se obtuvo ninguna respuesta. Según la percepción de los comuneros, el aprovechamiento forestal como actividad económica percibe que es importante en un 43 %, el 12.5 % como muy importante, el 31.25 % moderadamente importante y el 12 % poco importante. Un 76 % ha realizado aprovechamiento de recursos forestales son maderables, de los cuales la recolección de hongos (61 %), plantas medicinales (22 %) y musgo (5 %) son los más mencionados. Se les preguntó sí de acuerdo con su percepción el aprovechamiento forestal generaba algún impacto negativo al ambiente, en un 69 % estuvieron de acuerdo, un 19 % ni de acuerdo ni en desacuerdo, y el 6 % totalmente de acuerdo y el mismo valor para totalmente en desacuerdo. De los impactos que pueden generarse, según la percepción de los comuneros la disminución de fuentes de agua en un 38 %, la pérdida de biodiversidad (30 %) y por último la erosión del suelo (30 %).

De acuerdo con la percepción, los tres servicios más importantes para los comuneros son el oxígeno (34.7 %), el agua (32.6 %) y las plantas medicinales (15.21 %). Los tres bienes ecosistémicos más importantes son el agua de riego y para beber (33.3 %), la leña (24.4 %) y los productos no maderables (13.3 %). El 76 % de los comuneros han realizado aprovechamiento de recursos no forestales como miel, musgo y hongos.

El 68 % está de acuerdo con que el aprovechamiento forestal genera algún impacto negativo al ambiente, el 18 % ni de acuerdo ni en desacuerdo, hay un 6 % que está totalmente de acuerdo y otro 6 % que está totalmente en desacuerdo. El 37 % tiene la percepción de que la disminución de fuentes de agua es el mayor impacto negativo por la actividad de aprovechamiento forestal, seguido de la pérdida de la biodiversidad y después erosión del suelo. La percepción hacia el manejo forestal en los BCSC fue en un 47 % como regular, 35 % bien, 11.7 % muy bien y 5.8 % malo.

La percepción de los comuneros hacia el manejo forestal fue: el 47 % percibe que es regular, el 35 % que está bien, un 12 % percibe que el manejo forestal es muy bueno y un 5 % que es malo. Del aprovechamiento forestal se benefician en un 43 % los comuneros, seguido del pueblo en general (25 %), la familia (12 %), grupos, todos y vecinados (6 %).

### **III.- Almacén de carbono orgánico como servicio ecosistémico de regulación.**

Según la percepción de los comuneros hacia la importancia del suelo, el suelo es muy importante (MI) con un 88 % e importante (I) con un 12 %. Se les preguntó si creían que la deforestación estaba relacionada con la pérdida del suelo y agua, su respuesta fue totalmente de acuerdo con 19 %, de acuerdo 75 % y ni de acuerdo ni en desacuerdo un 6 %. A los informantes se les pidió que mencionaran las tres primeras palabras que pensarían cuando se les decía la palabra suelo, en la **figura 21** se muestran las palabras mencionadas, las más grandes son las más frecuentes en mención, el gráfico de nube de palabras se realizó con minería de palabras, se utilizó la paquetería “tm”. Sobre la regulación del clima y la relación con el suelo el 88 % percibe que el suelo sí ayuda a regular el clima, mientras que un 17 % no sabe. En cuanto al almacén del carbono orgánico en el suelo, el 62 % percibe que es importante, el 25 % no sabe, y el 12 % que es necesario. Para ellos la pureza del aire está relacionada con el suelo en un 81 %, el 12 % percibe que no y el 6 % no sabe. A los informantes se les preguntó sobre su percepción hacia un cambio en la temperatura y los patrones de lluvia en los últimos 10 años, todos contestaron que sí con comentarios como: *“Ha llovido menos, por el calentamiento global hay tormentas, huracanes, más frentes fríos en mayo y junio”*, *“Hace*



*cuando se labora el primer árbol, al primero que se le pide permiso es a Dios que es quien nos da todo y después el bosque*". Es de suma importancia tomar en cuenta el papel de las masculinidades y la transmisión del conocimiento tradicional hacia las prácticas forestales, de generación en generación (Paulson, 2013).

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES**

Basados en la información generada en el presente estudio y en función de la hipótesis planteada y su justificación, se demuestra que el manejo forestal es el factor más importante que determina la cantidad del carbono orgánico del suelo en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc. La información proporcionada por los informantes clave, permitió entender la dinámica socio – ambiental en los BCSJC, principalmente su visión hacia los servicios ecosistémicos. Este estudio se respalda en las siguientes conclusiones:

- Se estimó el carbono orgánico del suelo por unidad de área en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc, teniendo como media general 231 ton/ha de carbono orgánico del suelo, valor que concuerda con lo reportado por diversos autores. Lo que permite disponer de una base de datos de calidad para su comparación con otros predios que realicen manejo forestal sustentable, además de su uso como indicador en las políticas públicas.
- El modelo lineal generalizado permitió determinar que el manejo forestal por parte de los comuneros es el factor más importante, con un 15.40 % de la devianza explicada, lo cual sugiere realizar más estudios para comparar en predios con diferentes manejos forestales. La cantidad de COS (ton/ha) por manejo presentó diferencias estadísticas significativas, siendo el Área sin manejo (SM) la que contiene menor cantidad de carbono orgánico del suelo (141.45 ton/ha). Por lo que se concluye que el manejo forestal influye en la cantidad de carbono orgánico del suelo, pero no es aún un factor de reducción, se sugiere realizar monitoreos frecuentes.
- El tipo de vegetación es el segundo factor que influye en la cantidad de carbono orgánico del suelo, con un 7 % de explicación en el modelo. En el bosque de Pino – Encino se encuentra la mayor cantidad de carbono orgánico del suelo (280.76 ton/ha).

Este resultado es importante debido a que las zonas de bosque mixto presentan una mejor calidad de la hojarasca y por lo tanto del COS (ton/ha).

- A pesar de que el manejo es el factor más influyente en la cantidad del carbono orgánico del suelo (ton/ha), en las propiedades físico – químicas: fragmentos gruesos (FG), pH,  $\Delta$  pH, conductividad eléctrica (CE), nitrógeno (N) y la relación carbono nitrógeno (C/N) no se presentó una diferencia significativa y tampoco en las demás condiciones forestales. La densidad aparente (DAP) y la materia orgánica del suelo muestran una diferencia significativa, sin embargo, los valores se encuentran dentro de lo reportado por varios autores, por lo que se concluye que el suelo aún tiene la capacidad resiliente y de amortiguamiento hacia el manejo forestal.
- Se propuso una clasificación para la cantidad de carbono orgánico del suelo (ton/ha), en donde la media está dentro de la categoría Medio. El análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada mediante sensores remotos permitió realizar un análisis de regresión simple con los valores interpolados del carbono orgánico del suelo (ton/ha), la cual muestra una relación linealmente significativa por lo que puede considerarse como una forma rápida, sencilla y económica de monitoreo del carbono orgánico del suelo (ton/ha) en los siguientes años.
- El análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada mediante sensores remotos permitió verificar mediante un Análisis de Varianzas (ANOVA) que el área que es diferente significativamente es la de sin manejo (SM), por lo que se confirma que el área dentro del plan anual de cortas, es decir, el área de aprovechamiento (AP) y sin aprovechamiento (SA) están repercutiendo de manera positiva en la cantidad de carbono orgánico del suelo.
- Las encuestas aplicadas a los informantes clave muestran que la percepción de los comuneros es positiva ante sus servicios y bienes ecosistémicos. Ellos han recibido capacitaciones por parte de CONAFOR por pagos de servicios ambientales, sin embargo, hace falta que se hable más sobre el tema del carbono orgánico del suelo y las prácticas de manejo que beneficien su mantenimiento.

## VII. RECOMENDACIONES

- En trabajos futuros sobre el carbono orgánico del suelo en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc se debe considerar en el muestreo la heterogeneidad existente del medio. Por lo que se recomienda realizar muestreos por conglomerados.
- Se recomienda que en un futuro se realicen talleres participativos en los Bienes Comunes San Juan Cuauhtémoc y la aplicación de la herramienta de diálogo de saberes para hondar más sobre la importancia del COS, la mitigación y adaptación al cambio climático local.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acosta – Mireles, M., Carrillo – Anzures, F., Díaz, L. M (2009). Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. Et Cham. *Terra Latinoamericana*, 27(2). Pp. 105 – 114.
- Aguilar, A., Etchevers, J. D. y Castellanos. J. Z. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. Volumen 1. México; 217 p.
- Aguirre-Díaz, G. (1997). Volcanic stratigraphy 01 the Amealco Caldera and vicinity, central Mexican Volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, (13), 10-51.
- Álvarez – Arteaga, G., Mireles – Lezama, P., Ibañez, H. A., García – Fajardo, B., Orozco – Hernández. M. E. (2014) Cambios de uso de suelo y servicios ambientales en un bosque templado del Estado de México. *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: síntesis a 2014*. Pellat, F- P., Wong, G. J. Editores. Programa Mexicano del Carbono.
- Álvarez, S., Rubio, A. (2016). Wood Use and Forest Management for Carbon Sequestration in Community Forestry in Sierra Juárez, México. *Small – scale Forestry Research* paper. 15:357-374 DOI 10.007/s11842 – 016 – 9325 – 2.
- Alcatraz, S., Daniel, O., Tadeu-Vitorino, A. C y Sannier, C. (2011). Relaciones entre atributos hidrogeomorfológicos de la cuenca del río Dourados y su importancia ambiental. *Agrociencia*. 45 (3), 269 – 279.
- Arango, C.B.E. (2011). Sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Mercado de derecho*. Dialnet.
- Avilés – Hernández, V., Velázquez – Martínez, A., Angeles – Pérez, G., Etchevers – Barra, J., De los Santos – Posadas, H., Llanderal, T. (2009). Variación en almacenes de carbono en suelos de una toposecuencia. Colegio de Posgraduados. Carretera México – Texcoco, km 36.5 Montecillos, Estado de México.

- Balesdent, J., Chenu. C., y Balabane. M. (2002). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*. 53 (2000). 215 – 230.
- Balvanera. P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*. 21 (1 – 2):136 – 147. Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Banco mundial. Informe anual 2014.
- Bautista, F., Gallegos, A. y Pacheco, A. (2016). Análisis de las funciones ambientales de los suelos con datos de perfiles (Soil & Environment). Skiu. México. Df., México. 69 pp. ISBN: 978 – 607 – 96883 – 6 – 3.
- Becerra, S. R. A. (2007). Estudio del régimen pluviométrico de una cuenca empleando funciones ortogonales. Universidad Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. TESIS (Maestría).
- Bezaury – Creel, J., Gutiérrez, C. D. (2009). Áreas Naturales Protegidas desarrollo social en México, en Capital Natural de México. Vol. II: Estado de Conservación y tendencias de Cambio. CONABIO. México. pp. 385 – 431.
- Blanco – Castro. (1996). Ideas Metodológicas relativas al trabajo de campo etnobotánica. Real Jardín Botánico de Madrid Monograf. Jardín Botánico Córdoba. 3:89-91.
- Bojórquez, S. J. I., Castillo, P. L. A., Hernández, J. A., García, P. J. D. y Madueño, M. A. (2015). Cambios en las reservas de Carbono orgánico de suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales*. 36 (4), 63 – 69.
- Bonan, G. B. (2008). Forest and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forest. Review. *Forest in Flux. Science*. Vol. 320.
- Bray D, Merino L, Barry D (2007) Los Bosques Comunitarios de México: Logros y desafíos. Instituto Nacional de Ecología - SEMARNAT, México
- Bueno – Hurtado, P., López – Santos, A., Sánchez – Cohen, I., Velásquez – Valle, M.A. (2015). Cambios en el uso de suelo y sus efectos sobre la dinámica de GEI en el estado de Durango, México. *Tecnologías y Ciencias del Agua*. 6(4), 75 – 84.
- Carpenter, S. R., (2008). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment.
- Campo, J., García, O. F., Navarrete, S. A., Siebe. (2016). Almacenes y dinámica del carbono orgánico en ecosistemas forestales tropicales de México. *Terra Latinoamericana* 34 (1) pp. 31 – 38.
- Campos, A. D. F. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. Capítulo 2: Geomorfología de la cuenca. Universidad Autónoma de San Luís Potosí, México.
- Capra F. (2003). La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos. Barcelona: Quinta edición, Anagrama, Colección Argumentos.
- Castellanos, J. Z., Uvalle – Bueno, J. X y Aguilar – Santelises, A. (2000). Manual de interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Instituto de Capacitación para la productividad Agrícola. Colección INCAP. pp.200.
- CONAPO (2005). Índice de marginación por localidad 2005.
- CONAPO (2010). Índice de marginación por localidad 2010.

- CMNCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- CNUMAD. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Cruz – Flores, G., Etchevers – Barra, J. D. (2011). Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de Áreas Protegidas de México. Departamento de Edafología y Fisiología de la Nutrición Vegetal Universidad Autónoma de México y Departamento de Suelos del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos.
- Dargusch P, Harrison S, Thomas S (2010) Opportunities for small-scale forestry in carbon markets. *Small-Scale For* 9(4):397–408. DOI: 10.1007/s11842 – 010 – 9142 - y.
- Davidson, E. A., Trumbore, S. E., Amundson, R. (2000). Biogeochemistry: Soil warming and orgánico carbón content.
- Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano. (1972).
- De Jong B, Masera O, Olguin M, Martinez R (2007) Greenhouse gas mitigation potential of combining forest management and bioenergy substitution: a case study from Central Highlands of Michoacan. *México For Ecol Manage* 242(2–3):398–411. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.01.057
- Del Álamo, J. J. C. (2007). Bosques y cambio climático la función de los bosques como sumideros de carbono y su contribución al cumplimiento del protocolo de Kioto por parte de España. Escuela Agraria de Cogullada. España.
- DOF. (2010). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la región hidrológica Número 18 Balsas, México. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5175730](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5175730) (accessed on 3 October 2017).
- DOF. (2011). Declaratoria de Clasificación de Los Río Atoyac, Xochiac o Hueyapan, y Sus Afluentes. México. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011). Consultado el 22 de Marzo del 2017.
- DOF. (2013). Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl.
- DOF. (2012). Ley General del cambio climático. Diario Oficial de la Federación.
- Domínguez, M. A. (2004). Hidrología de cuencas y diagnóstico físico. Primer diplomado Internacional en Desarrollo Integral de Microcuencas..
- EPA. (2010). Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Source. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency. Office of Atmospheric Programs. Consultado el 30 de Noviembre de 2017. Recuperado de World Wide Web: <https://www.epa.gov/>.
- Esperanza, F y Zerda, H. 2002. Potencialidad de los índices de vegetación Para la discriminación de coberturas forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago del Estero, 2002.



- Falkowski, P., Scholes, R. J., Boyle, E., Canadell, J., Canfield, D., Elser, J., Steffen, W. (2000). The Global carbón cycle: a test of our knowledge of earth as a System. *Science*. Vol. 290.
- FAO (2001). Soil organic sequestration for improved land management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy Special Reporto n Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- FAO (2002a). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia. ISBN. 92 – 5 – 304690 – 2.
- FAO (2002b) Sistemas de uso de la Tierra en los Trópicos Húmedos y la emisión y secuestro de CO<sub>2</sub>. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia.
- FAO (2006) Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- FAO (2010a). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Términos y definiciones. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia.
- FAO (2010b). La gestión de los bosques ante el cambio climático. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia.
- FAO (2015). Status of the World's soil Resources. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia. ISBN: 978 – 92 – 5 – 109004 – 6.
- FAO (2017). Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia. ISBN: 978 – 92 – 5 – 309681 – 7.
- Finzi, C. A., Canham, D. C., Breemen, V. N. (1998). Canopy tree – soil interactions within temperate forest: species effects on pH and cations. *Ecological Applications* 8(2), pp. 447 – 454 by the Ecological Society of America.
- Flores, D. L., Alcalá, M. J. R. Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. Departamento de Procedimientos Analíticos. (2010).
- Gandhi, S. M. y Sarkar, B. C. (2016). Essentials of mineral exploration and evaluation. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Galicia, L., Gamboa, C. A. M., Cram, S., Chávez, V. B., Peña, R. V., Saynes, V., y Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del Carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*. 34: 1-29.
- García, R. Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Filosofía de la ciencia Serie CLA – DE – MA. Gedisa. 2006. 201 p. España. ISBN: 94 – 9784 – 164 – 6 -6.
- García, E. (1989). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía (6). Universidad Autónoma de México.

- Garduño, R. (2004). ¿Qué es el efecto invernadero? SEMARNAT e INE (Eds). Julia M. y Adrián. F.B (Coords). Cambio Climático: una visión desde México. Coyoacán. México. ISBN. 968 – 817 – 704 – 0.
- Gill, T. K., Phinn, S. R., Armston, J. D., Pailthorpe, B. A., 2009. Estimating tree – cover change in Australia; challenges of using the MODIS vegetation index produc. International Journal of Remote Sensing 30(6), 1547 – 1565.
- González, P. J y Candás, V. M. A. (2004). Materia orgánica de suelos bajo encinas, mineralización del carbono y el nitrógeno. *Departamento de Edafología*. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense, Madrid, España.
- Gómez – Luna, B. E., Vázquez – Marrufo, G., Ruíz – Aguilar, G. de la L., Olalde – Portugal, V. (2010). Cambios en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo generados por la producción de carbón vegetal en el bosque templado de (*Quercus* spp) en Santa Rosa, Gto, México. Redalyc. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Gréggio, C. T., Assis, L. C., Nahas, E. (2007). Descomposición del mantillo del árbol del caucho *Hevea brasiliensis* (Wild. Ex A. Juss.) Müll. Arg. en donde profundidades. *Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil*. Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, Departamento de Producción Vegetal.
- Hernández, O. O. J., Gutiérrez, C. M.C., Sánchez, G. P., Cervantes, E. A. (2017). Calidad de Andosols en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla. Área de Genesis, Morfología y Clasificación de Suelos, Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
- Hernández – Sampieri, R., Fernández – Colado, C., Baptista, L. P. Metodología de la investigación. McGRAW – HILL Interamericana. 2006. México. D.F. 882 p.
- Horning, N. (2018). Remote sensing. Reference module in earth systems and environmental sciences. Elsevier. Amsterdam.
- INECC y SEMARNAT. (2012). Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. México.
- INEGI. (1985). Las técnicas de la Teledetección en el INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI (2002). Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Geológica 1:250 000, serie I. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267605>
- INEGI. (2006). Carta Edafológica, Esc. 1:250000. INEGI. México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI. (2000). Síntesis Geográfica del Estado de Puebla. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI. (2010). Compendio de información Geográfica Municipal 2010 Tlahuapan, Puebla. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI. (2013). Carta vegetación y uso de suelo, Esc. 1:250000. INEGI. México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

- INEGI (2016). Conjunto Nacional del Conjunto de Datos de la Carta de Uso del suelo y vegetación Serie VI. Escala 1:250 000. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459>
- INEGI. (2017). Instituto Nacional de Estadística y Geografía Marco Geoestadístico Nacional. INEGI. México. Consultada el 13 de enero de 2018. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463171829>
- Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990 – 2010. (2013). INEGI. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. ISBN: 978 – 607 – 8247 – 63 – 2. México.
- IPCC. (2005). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono resumen para responsables de políticas y resumen técnico.
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 104 p.
- Jandl, R. (2001). Secuestro de carbono en bosques – El papel del suelo. *Revista Forestal Iberoamericana*. 1 (1). pp. 57 – 62.
- Janzen, H. H. (2004). Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. *Agriculture Ecosystems and environment*, 104 (2004) 399 – 417.
- Jaramillo, V.J. (2004). El ciclo global del carbono. SEMARNAT e INE (Eds), Julia M. y Adrián F.B (Coords). Cambio climático: una visión desde México. Coyoacán. México. ISBN. 968 – 817 – 704 – 0.
- John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., & Flessa, H. (2005). Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silky soils under different types of land use. *Geoderma*, 128, 63–79. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.12.013
- Kassambara, A. (2017). Practical Guide To Cluster Analysis in R. Unsupervised Machine Learning. *Multivariate Analysis I*.
- Lal, R. (2005a). Forest soil and carbón sequestration. *Forest Ecology and Management*. 220. pp. 241 – 258.
- Lal, R. (2005b). Soil erosion and carbón dynamics. *Soil and Tillage Research*. 81, 137 – 142. Doi: org/10.1016/j.still.2004.09.002.
- Lal, R. y Lorenz, K. (2012). Carbon sequestration in temperate forest. Eds. *Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle*.
- Lal, R., Lorenz, K., Hüttl, R.F., Schneider, B. U y von Braun, J. (2013). Ecosystem Services and Carbon Sequestration in the Biosphere.
- Leamy, M., Smith, G., colmet – Daage, F., y Otowa, M. (1980). The morfological characteristics of Andisols. En: B. K. G. Theng (ed.) Soil with variable charge. Soil Bureau, lower Hutt, New Zeland: 17 - 34
- Leff. E. (1994). Ecología y capital: racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable. México. Siglo XXI. UNAM.
- Leff. E. (2004). Racionalidad ambiental. La reapropiación de la naturaleza.

- Leff, E. (2013). Saber ambiental sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder.
- Linares, F. G., Tenorio, A. M. G., Torres, T. E y Oroza, H. A. A. (2017). Estimación del carbono orgánico en suelos por teledetección y modelos de regresión. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 8(18): 26 – 40.
- Lorenz, K. y Lal, R. (2010). Carbon sequestration in forestry ecosystems. *Springer*.
- Magaña, R. V. O. (2004). El cambio climático global: comprender problema. SEMARNAT e INE (Eds). Julia M. y Adrián F.B (Coords). Cambio climático: una visión desde México. Coyoacán. México. ISBN. 968 – 817- 704 – 0. 58
- Márquez, R. C., Cuevas. C. J. C., Ávalos. C. C. (2009). Ordenamiento territorial comunitario en la zona de Influencia del Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl. En 59 Monterroso. R. A. I. (Ed). Manejo de Recursos Naturales en México: Nuevos enfoques para su gestión integral. Pp. 179 – 188. 1 Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Martínez, H. E., Fuentes. E. J. P., Acevedo. H. E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc.* 8(1) 68 – 96.
- Mendoza-Ponce A, Galicia L (2010) Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry* 83:497–506. doi:10.1093/forestry/cpq032.
- MEA (Millenium Ecosystem Assesment, US). (2005). Ecosystems and Human Well – Being: Biodiversity Synthesis. Washington, USA. World Resources Institu. 155 p.
- Milosavljevic, V. (2007). Estadísticas para la equidad de género. Magnitudes y tendencias en América Latina.
- Monreal, C. M., Etchevers. J. D., Acosta. M., Hidalgo. C., Padilla. J., López. R. M., Jiménez. L., y Velázquez. A. (2005). A Method for measuring above – and below – ground C stoks in hillside landscape. *J. Soil*.
- Moreno, J. M. J., Aguarón, J. J., Escobar, U. M. T. (2001). Metodología científica en valoración y selección ambiental. *Pesquisa Operacional*. 21 (1): 1 – 6.
- Moyano. A., Gallardo, L. F. J y Charro, E. (2004). Comportamiento del carbono orgánico en dos suelos forestales de la sierra de gata (Provincia de Salamanca).
- Nanzyo, M., Shoji, S., Dahlgren, R. (1993) Physical Characteristics of Volcanics Ash Soils. *Developments in Soil Science*. 21. pp. 189 – 207.
- Norma Oficial Mexicana NOM – 021 – RECNAT – 2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. (2002). Diario Oficial.
- North, G.R., J. Pyle and F. Zhang (eds), 2015: Encyclopedia of Atmospheric Sciences, Second Edition: Volumes 1-6, Academic Press, 2998 pp.
- Ordoñez, D. J. A. B. (1999). Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto de Ecología – SEMARNAP.

- Oroza, A. A., Linares, G y Reyes, H. J. (2016). Modelo Gamma de Efectos Mixtos para estimar Carbono Orgánico en suelos usando Imágenes Satelitales Landsat en la zona RTP Cuetzalan México. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. XXVI Simposio Internacional de Estadística. Sincelejo, Sucre, Colombia.
- Ortiz. S. C. A. (2010). Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos.
- Osono, T., Hobara, S., Hishinuma, T., Zuma, J. (2011). Selective lignin decomposition and nitrogen mineralization in forest litter colonized by *Clitocybe* sp. *European Journal of Soil Biology*. 47:114 – 121.
- Ostrom, E. (2002). El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva. *Región y sociedad* XIV (24). UNAM. México,
- Padrón, J. (2007). Tendencias Epistemológicas de la Investigación científica en el Siglo XXI. *Epistemological Trends in 21st Century Scientific Research*. 28: 1 – 28.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E... Hayes, D. (2011). A large and persistent carbón sink in the world's forest. *Science* (333). Pp. 988 – 933. 60
- Paruelo, J.M., Epstein, H. E., Lauenroth, W.K., Burke, I.C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the US. *Ecology* 78:953-958.
- Paulson, S. (2013). Masculinidades en movimiento. Transformación territorial y sistemas de género. Buenos Aires. ISBN 978 – 987 – 1867 – 69 – 1.
- Paz, P. F., Argumedo. E. P., Cruz. G. C. O., Etchevers. B. J. D., y de Jong. Ben. (2016). Distribución espacial y temporal del Carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres de México. *Terra Latinoamericana*. 34: 289 – 310.
- PECC. (2014). Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018.
- Penman, J., Gytarsky, M. Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Wagner, F. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Kanagawa, Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environment Strategies. Obtenido de [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_files/GPG\\_LULUCF\\_FULL.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf)
- Pérez – Ramírez. S, Ramírez. M. I., Jaramillo – López. P. F., Bautista. F. (2013). Contenido de Carbono en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México. *Revista Chapingo. Serie Ceincias Forestales del Ambiente*. ISSN: 2007 – 3828.
- Peters-Stanley M, Hamilton K, Marcello T, Sjardin M (2011) State of the voluntary carbon markets 2011. Ecosystem Marketplace and Bloomberg New Energy Finance.
- Porta, C. J., López – Acevedo, R. M., Roquero, C. (2003) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ra Edición. Ediciones Mundi . Prensa, Barcelona.
- Pritchett, W- (1986). Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Edit. Limusa/Noriega. México.
- Programa Internacional sobre Democracia, Sociedad y Nuevas Economías. (s.a) Presentación de los bienes comunales. Universidad de Buenos Aires.

- Programa Mexicano del Carbono, A.C. (2015). Manual de Procedimientos Inventario de Carbono +. Estudio de factibilidad Técnica para el Pago de Bonos de Carbono en el Estado de México (RETUS con BASES EDOMEX). Fernando P.P (Coord). Fabiola R.G., Julio C. C. G y José. I. P.P. Texcoco, Estado de México (Colab). Texcoco, Estado de México. 57 p.
- Ramírez, García. G. A., Cruz, L. A., Carrillo, M. N., Monterroso, R. A. I. (2016). El ordenamiento ecológico territorial instrumento de política ambiental para la planeación del desarrollo local. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Reich, P. B., Hungate, B. A y Luo, Y. (2006). Carbon – Nitrogen interactions in terrestrial ecosystem in response to rising atmospheric carbon dioxide.
- Rios, P. A. (2014). Calidad de carbono secuestrado en suelos de los sistemas forestales de la zona del volcán la Malinche, Estado de Puebla. (TESIS MAESTRIA). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Posgrado en Ciencias Ambientales.
- Robert, M. (2001). Soil carbon sequestration for improved land management.
- Rojas – García, F., Santoyo – Gómez, G. H., González – Montiel, E., Velázquez – Rodríguez, A., Pulido – Ponce, J- I. La Ciencia del suelo en el carbono de México. *Programa Mexicano del Carbono. Elementos para políticas públicas*. 1 (2).
- Rouse, J. W., Haas, R. W., Schell, J. A., Deering, D. H. y Harían, J. C. 1974. Monitoring the vernal advancement andretrogadation (Greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt, MD. USA, NASA/GSFCT.
- Rosell, R. A., Gasparon. J. C y Galantini. J. A. (2001). Soil organic Matter Evaluation. En. R. Lal, J. M. Kimble. R. F. Follett., B. A. Stewart (Eds). Assessment Methods for soil carbón.
- Rubio A, Gavilán RG, Montes F et al (2011) Biodiversity measures applied to stand-level management: can they really be useful? *Ecol Indic* 11:545–556. doi:10.1016/j.ecolind.2010.07.011
- Rügnitz, M. T., Chacón. M. L., Porro. R. (2009) Guía para la determinación de Carbono en propiedades rurales. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) y Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Lima, Perú. p. 76.
- Ruíz, C. J., Calderón, F. E., Tamaríz, F. J. V., Tremols, G. J., Cruz, M. A., Valera, P. M. ^ Handal, S. A. (1999). Manual para la descripción de suelos y evaluación del en <sup>61</sup> Textos BUAP, Puebla, México.
- Sánchez, E. Torres, M. Palacios, A. Aguilar, M. Pino, S. Granado, L. 2000. Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como Indicadores para la Asignación de Modelos de Combustible para la Estimación del Riesgo de Incendios en Andalucía. Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, 2000: 164-174 Disponible en Internet en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/IX\\_2/Sanchez\\_Esperanza.PDF](http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/IX_2/Sanchez_Esperanza.PDF) [Consulta: 02 de abril 2011].
- Sánchez, de P. M., Prager, M- M., Naranjo, E. R y Sanclemente, O. E. (2012). El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología*. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

- Saugier, B., Roy, J., Mooney, H. A. Estimations of Global Terrestrial Productivity: Converging toward a Single Number?. (2001).
- SSAOT. (2011). Síntesis Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático. ISBN: 123 – 456- 789.
- Sayness – Santillán, V., Campo – Alves. J., Etchevers – Barra. J. D., García – Sarmiento. L. (2014). *Almacenes de Carbono en la fracción activa de la materia orgánica en suelos de bosques templados con aprovechamiento forestal*. En Paz, F., J. Wong (Eds). Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. Pp. 269 – 279. ISBN. 978 – 607 – 9640 – 2 – 9. 640 p.
- SEDESOL. (2010). Catalogo por localidades. Sistema de apoyo para la planeación del PDZP.
- Schomers y Matzdorf (2013). Payments for ecosystem services: A review and comparison of developing and industrialized countries.
- Segura – Castruita, M. A., Sánchez – Guzmán. P., Ortíz – Solorio. C. A., Gutiérrez – Castorena. M. del C. (2005). Carbono orgánico de los suelos en México. *Terra Latinoamericana*. 23 (1) 21 – 28. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México.
- SEMARNAT y CONANP. (2013). Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. México.
- SEMARNAT Y CONANP (2017). Las Áreas Naturales Protegidas Respuestas Naturales frente al Cambio Climático.
- Schlegel, B., Gayoso. J., Guerra. J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad de Chile. Valdivia, Chile.
- SGM. (2017). Carta geológica-minera San Francisco Teotihuacán E14B53, Esc. 1:50000. Servicio Geológico Mexicano. Consultada el 11 de noviembre de. 2017. Recuperado de <http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas Online/geologia/1820 E14-B53 GM.pdf>.
- Tamayo y Tamayo. Formas y tipos de la investigación. En. El proceso de la investigación científica. Limusa S.A de C.V. 2006. México, D.F. p. 42 – 43. ISBN:10:968 – 18 – 5872 – 7.
- Thompson DW, Hansen EN (2013) Carbon storage on non-industrial private forestland: an application of the theory of planned behavior. *Small-Scale For* 12:631–657. doi:10.1007/s11842-013-9235-5.
- Unión Europea. (2010). La fábrica de la vida ¿Por qué es tan importante la biodiversidad del suelo? Impreso en Bélgica. ISBN: 978-92-79-14999-3.
- Valera, P. M. A., Tenorio. A. M.G., Linares. F. G., Sampedro. R. M. L., Otazo. S. E., y Silva. G. S. M. (2014). Análisis geoestadístico del carbono almacenado en suelos forestales de origen volcánico. *Memorias del XII Congreso Internacional y XIX Congreso*

*Nacional de Ciencias Ambientales.* Academia Nacional de Ciencias Ambientales. Acapulco, Guerrero.

- Verón, S., Jobbágy, E., Gasparri, I., Kandus, P., Easdale, M... Thompson, F. (2011). Complejidad de los servicios ecosistémicos y estrategias para abordarla. Eds. Pedro, L., José M, Paruelo., Esteban G, J. Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. ISBN: 978 – 987 -679 – 018 – 5.
- Wada, K. (1985). The distinctive properties of andosols. *Adv. Soil. Sci.*, 2:173-229
- Wall, D. y Virginia, A. 2000. The world beneath our feet: Soil biodiversity and ecosystem functioning. Pp. 225-241, In: P. Raven and T. A. Williams (eds). *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World*. National Academy of Sciences Press, Washington D.C. 644pp.
- Zamora, M. P. B., Mendoza, C. M., Guerrero, I. M. M. (2017). Cambio climático y su relación con prácticas de manejo del suelo para la captura del carbono: sectores agropecuario y forestal. Programa Mexicano del Carbono. Elementos para políticas públicas. 1 (3).
- Zhongming, W. Brian G. Lees, Jiao Feng, Lei Wanning, Shi Haijing. 2009. Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion. En: *Catena*, ELSEVIER: National Basic Research Program of China (2007CB407203) and National Natural Science Foundation of China (40871246) and Western Light Project of CAS(2009y236)., 13 julio 2010, no. 83, p 87 – 93.



## X. ANEXOS

### Anexo I. Formato de encuesta.

#### ENCUESTA.

El objetivo de esta encuesta es conocer la percepción de los comuneros de San Juan Cuauhtémoc hacia el bosque cómo un servicio ecosistémico de provisión y el carbono orgánico del suelo como servicio de regulación.

1. **¿A qué se dedica?**

---

2. **¿Qué tipo de propiedad de tierra tiene?**

Ejidal \_\_\_\_ Comunal \_\_\_\_ Propia \_\_\_\_ Otra \_\_\_\_.

3. **¿Cuál es la extensión total de su tierra (ha)?**

1 – 10 ha \_\_\_\_ 10 – 100 ha \_\_\_\_ 100 – 1,000 ha \_\_\_\_.

4. **¿Qué actividad le deja un mayor ingreso económico?**

Agricultura \_\_\_\_ Aprovechamiento forestal \_\_\_\_ Ganadería \_\_\_\_ Ecoturismo \_\_\_\_  
Venta de truchas \_\_\_\_ Silvicultura \_\_\_\_ Otro \_\_\_\_.

5. **¿Qué tan importante para usted es el bosque?**

Muy importante \_\_\_\_ Importante \_\_\_\_ Moderadamente importante \_\_\_\_ Poco importante \_\_\_\_ Nada importante \_\_\_\_.

6. **¿Usted hace uso del bosque?**

Sí \_\_\_\_ No \_\_\_\_ A veces \_\_\_\_ No sé \_\_\_\_.

7. **¿Qué uso le da al bosque? (puede elegir varias, todas o ninguna).**

Recolección de leña \_\_\_\_ Recolección de hojarasca \_\_\_\_ Recolección de musgo \_\_\_\_ Actividades ecoturísticas \_\_\_\_ Aprovechamiento forestal \_\_\_\_ Obtención de agua \_\_\_\_ Recolección de tierra de monte \_\_\_\_ Paisajismo \_\_\_\_ Espiritual \_\_\_\_ Campamentos \_\_\_\_ Aprovechamiento forestal no maderable \_\_\_\_ Ninguno \_\_\_\_ No sé \_\_\_\_.

8. **El bosque nos brinda diversos bienes. Mencionaré algunos, dígame los tres que considere más importantes.**

Leña \_\_\_\_ Madera \_\_\_\_ Agua para beber y de riego \_\_\_\_ Forraje \_\_\_\_ Obtención de tierra negra \_\_\_\_  
Excavación de tierra \_\_\_\_ Recursos genéticos \_\_\_\_ Productos no maderables (hongos, caza, frutas, miel) \_\_\_\_

9. **El bosque nos brinda diversos servicios. Mencionaré algunos, dígame los tres que considere más importantes.**

Oxígeno (elimina contaminantes atmosféricos) \_\_\_\_ Agua (cuenca) \_\_\_\_ Genera suelo \_\_\_\_ Plantas medicinales \_\_\_\_ Alimento \_\_\_\_ Recreación y diversión \_\_\_\_ Mantenimiento de la biodiversidad \_\_\_\_

10. **¿Qué tan importante es para usted el aprovechamiento forestal maderable como actividad económica?**

Muy importante \_\_\_\_ Importante \_\_\_\_ Moderadamente importante \_\_\_\_ Poco importante \_\_\_\_ Nada importante \_\_\_\_.

11. **¿Usted ha realizado aprovechamiento de productos forestales no maderables?**

Sí \_\_\_\_ No \_\_\_\_ No sé \_\_\_\_

12. **¿Cuales?**

Productos medicinales \_\_\_\_ Fibras \_\_\_\_ Resinas \_\_\_\_ Tierra de monte \_\_\_\_ Recolección de hongos \_\_\_\_ Otro \_\_\_\_

13. **¿Usted cree que el aprovechamiento forestal genera impactos al ambiente?**  
 Totalmente de acuerdo \_\_\_ De acuerdo \_\_\_ Ni en acuerdo ni en desacuerdo \_\_\_ En desacuerdo \_\_\_ Totalmente en desacuerdo \_\_\_\_\_
14. **El aprovechamiento forestal genera distintos impactos al ambiente (Contestar sí o no).**  
 Disminución de fuentes de agua \_\_\_ Erosión del suelo \_\_\_ Pérdida de especies de plantas, animales, hongos etc \_\_\_.
15. **¿Cree que la deforestación está relacionada con la pérdida de suelo y agua?**  
 Totalmente de acuerdo \_\_\_ De acuerdo \_\_\_ Ni en acuerdo ni en desacuerdo \_\_\_ En desacuerdo \_\_\_ Totalmente en desacuerdo \_\_\_\_\_
16. **¿Cómo percibe el manejo que actualmente se le da al bosque? (manejo: actividades administrativas, económicas, legales y sociales del bosque).**  
 Muy bien \_\_\_ Bien \_\_\_ Regular \_\_\_ Malo\_\_\_

17. **¿Quién se beneficia con el aprovechamiento forestal?**

---

18. **Mencione tres palabras que se le vengan a la mente cuando le digo la palabra "suelo".**

1.- \_\_\_\_\_ 2.- \_\_\_\_\_ 3.- \_\_\_\_\_.

19. **¿Qué tan importante para usted es el suelo?**

Muy importante \_\_\_ Importante \_\_\_ Poco importante \_\_\_ Nada importante \_\_\_\_\_.

20. **¿Usted hace uso del suelo?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_ A veces \_\_\_ No sé \_\_\_\_\_.

21. **Para usted ¿el suelo ayuda a regular el clima?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_ No sé \_\_\_\_\_.

22. **Para usted el almacén de carbono en el suelo es:**

Necesario \_\_\_ Esencial \_\_\_ Importante \_\_\_ No importante \_\_\_ No sé \_\_\_\_\_.

23. **¿Cree que la calidad (pureza, limpio) del aire esta relacionada con el suelo?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_ No sé \_\_\_\_\_

24. **¿En los últimos 10 años usted ha percibido un cambio en la temperatura y régimen de lluvias? (llueve más, menos, más calor o menos)**

Sí \_\_\_ No \_\_\_ No sé \_\_\_\_\_

25. **¿Usted cree que en un futuro el bosque se quede sin arboles?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_ No sé \_\_\_\_\_

26. **¿Usted cree que en un futuro en el predio de los bienes comunales pueda existir erosión de suelo?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_ No sé \_\_\_\_\_

**Municipio:**

**Localidad:**

**Fecha:**

**Nombre:**

**Sexo:** \_\_\_\_\_

**Edad:** \_\_\_\_\_ **Nivel de escolarización:** \_\_\_\_\_

**¿Habla algún dialecto o lengua aparte del español?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_ ¿Cuál? \_\_\_\_\_

Anexo II. Formato para la descripción de perfiles de suelo y evaluación de entorno.

GUIA PARA LA DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS Y EVALUACION DEL ENTORNO.

**PROYECTO:** \_\_\_\_\_

PERFIL No. \_\_\_\_\_ ESCALA \_\_\_\_\_ ALTITUD \_\_\_\_\_  
 HOJA CARTOGRAFICA \_\_\_\_\_ LOCALIDAD \_\_\_\_\_ MUNICIPIO \_\_\_\_\_  
 COORDENADAS N. \_\_\_\_\_ W. \_\_\_\_\_ ESTADO DEL TIEMPO: CLARO \_\_\_\_\_ NUBLADO \_\_\_\_\_ LLUVIOSO \_\_\_\_\_

DESCRITO POR \_\_\_\_\_ EXPOSICION \_\_\_\_\_  
 SOIL TAXONOMY \_\_\_\_\_ PROC. FORMACION \_\_\_\_\_  
 HORIZ. DIAGNOSTICO \_\_\_\_\_ FAOLINESCO \_\_\_\_\_

**CLASIFICACION**

**CONDICIONES DEL ENTORNO**

<b>EDAD DEL SUELO</b>	<b>TIPO DE FORMACION</b>	<b>EROSION</b>	<b>RELIEVE</b>	<b>PENDIENTE</b>	<b>INFLUENCIA HUMANA</b>
JOVEN <input type="checkbox"/>	ALUVIAL <input type="checkbox"/>	LAMINAR <input type="checkbox"/>	LLANO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NULA <input type="checkbox"/>
MADURO <input type="checkbox"/>	COLUVIAL <input type="checkbox"/>	EN SURCOS <input type="checkbox"/>	CASI LLANO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MODERADA <input type="checkbox"/>
SEÑIL <input type="checkbox"/>	LACUSTRE <input type="checkbox"/>	EN CARCAVAS <input type="checkbox"/>	LLANO DEPRES <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	FUERTE <input type="checkbox"/>
FOSIL <input type="checkbox"/>	EOLICA <input type="checkbox"/>	FUERTE <input type="checkbox"/>	LIG. ONDULADO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MUY FUERTE <input type="checkbox"/>
	IN-SITU <input type="checkbox"/>	MUY FUERTE <input type="checkbox"/>	ONDULADO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			FUERT. ONDULADO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			ALOMADO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			MONTANOSO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**ALORAMIENTOS**

<b>DRENAJE</b>	<b>ALORAMIENTOS</b>	<b>FACTORES LIMITANTES</b>
INTERNO <input type="checkbox"/>	GRAVAS (<7.5 CM) <input type="checkbox"/>	INUNDABLE <input type="checkbox"/>
IMPEDIDO <input type="checkbox"/>	PIEDRAS (7.5-25 CM) <input type="checkbox"/>	EROSIONADO <input type="checkbox"/>
ESCAS DRENADO <input type="checkbox"/>	ROCAS (>25 CM) <input type="checkbox"/>	DRENAJE <input type="checkbox"/>
MODER. DRENADO <input type="checkbox"/>	% EN SUPERFICIE <input type="checkbox"/>	IMPEDIDO <input type="checkbox"/>
DRENADO <input type="checkbox"/>	% EN SUPERFICIE <input type="checkbox"/>	EXCESIVO <input type="checkbox"/>
MUY DRENADO <input type="checkbox"/>	GUIJARRO (<7.5 CM) <input type="checkbox"/>	BAJA FERTILIDAD <input type="checkbox"/>
EXCES DRENADO <input type="checkbox"/>	GUIJARRO (>25 CM) <input type="checkbox"/>	COMPACTACION <input type="checkbox"/>
		PLASTICIDAD <input type="checkbox"/>

ROCA MADRE: \_\_\_\_\_ PROF. MANTO FREATICO: \_\_\_\_\_  
 VEGETACION: \_\_\_\_\_ Roca subyacente: \_\_\_\_\_ CULTIVO: \_\_\_\_\_

**INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES**

<b>VEGETACION NATURAL</b>	<b>USO DEL SUELO</b>	<b>RECURSOS HIDRICOS</b>
ESPECIES <input type="checkbox"/>	AGROPECUARIO <input type="checkbox"/>	RIO <input type="checkbox"/>
	AGROFORESTAL <input type="checkbox"/>	ARROYO <input type="checkbox"/>
	SILVOPASTORIL <input type="checkbox"/>	PRESA <input type="checkbox"/>
	FORESTAL <input type="checkbox"/>	LAGUNA <input type="checkbox"/>
		POZO <input type="checkbox"/>
		NO SE OBSERVAN <input type="checkbox"/>

TOMADO MICROMONCLITO SI  NO

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

Figura 19. Formato para la descripción del entorno

Fuente. Ruíz et al., (1999).

Perfil no.	HORIZONTES						OBSERVACIONES
<b>IV. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL SUELO</b>							
PROFUNDIDAD							
SEPARACIÓN CONTRASTEFORMA							
COLOR							
SECO							
HUMEDO							
CONT. MAT. ORGANICA							
SISTEMA RADICULAR grueso/desarrollo							
REACCION							
AL HCl							
AL NaF							
HUMEDAD (tacto)							
ESTRUCTURA							
POROSIDAD							
FASES BRILLOSAS							
PELICULAS							
CONSISTENCIA							
ADHESIVIDAD							
PLASTICIDAD							
TEXTURA (tacto)							
CONTENIDO EN:							
GRAVAS							
PIEDRAS							
ROCAS							
GUIJARROS							
GRIETAS ANCHO mm/LARGO mm							
FISURAS ANCHO mm/LARGO cm							
CONCRECIONES							
NODULOS							
MANCHAS							

**Figura 20.** Formato para descripción de perfiles de suelo

**Fuente.** Ruíz et al., (1999).

### Anexo III. Glosario

- **Aprovechamiento forestal sustentable:** es la extracción realizada en los términos de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), de los recursos forestales del medio en que se encuentren, incluyendo los maderables y los no maderables, en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos por periodos indefinidos.
- **Manejo forestal comunitario:** se realiza de manera colectiva, en las diversas fases de la cadena de valor, los núcleos agrarios, pueblos indígenas, comunidades, propietarios y poseedores legítimos, bajo los principios de sustentabilidad, equidad, inclusión y respecto a las tradiciones, usos y costumbres.
- **Gestión forestal:** proceso de planificación y ejecución de prácticas para el manejo y uso de suelo, bosques y tierras boscosas con miras al cumplimiento de objetivos medioambientales, económicos, sociales y culturales.
- **Gestión forestal sostenible:** el objetivo es mantener y aumentar el valor económico, social y medio ambiental para presentes y futuras generaciones.
- **Reforestación:** restablecimiento del bosque por plantación. No hay cambio de uso de suelo, la plantación se hace en áreas de bosque sin cubierta y se protegen los brotes de árboles originales, plantados o sembrados.
- **Área de bosque con un plan de manejo:** nivel de una unidad de manejo o bien a un nivel agregado de unidades de manejo (zonas forestales, propiedades agrícolas, cuencas hidrográficas, municipios o alguna entidad más grande). Puede incluir detalles sobre operaciones planeadas para unidades operativas individuales (rodales) o en general el planteamiento de estrategias y actividades planeadas para realizar el manejo.
- **Alofano:** son aluminosilicatos hídricos no cristalinos (de origen de rango corto) con una relación molar de Al/Si típicamente entre 1 y 2. Estos consisten en esferas huecas con diámetros de 3.5 a 5 nm y tienen una gran (reactiva) área superficial específica.
- **Ordenación forestal:** la organización económica de un área forestal tomando en cuenta sus características silvícolas, que implica la división espacial y temporal de las actividades de manejo forestal.
- **Programa de manejo forestal:** vegetación de los ecosistemas forestales, sus servicios, productos y residuos, así como los suelos de los terrenos forestales y preferentemente forestables.
- **Silvicultores:** personas que llevan a cabo acciones de manejo de los recursos forestales con fines de aprovechamiento, protección, conservación y restauración.
- **Silvicultura:** teoría y práctica de controlar el establecimiento, composición, constitución, crecimiento y desarrollo de los ecosistemas forestales para la continua producción de bienes y servicios, arte de controlar el crecimiento de un rodal.
- **Suelo forestal:** es un cuerpo natural que ocurre sobre la superficie de la corteza terrestre, compuesto de material mineral y orgánico, líquidos y gases, que presenta horizontes o capas y que es capaz de soportar la vida, que han evolucionado bajo una cubierta forestal y que presentan características que les confirió la vegetación forestal en el que se han desarrollado.

- **Sistema de manejo:** conjunto de prácticas basadas en consideraciones silvícolas y económicas para optimizar la productividad de los suelos forestales (sistema de bosque irregular/sistema de bosque regular).

#### **Anexo IV. Agradecimientos personales**

*Gracias a CONAFOR por ser un vínculo con los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan, en especial al Ingeniero Alfredo Gámez.*

*Gracias a los comuneros de los Bienes Comunales San Juan Cuauhtémoc, Tlahuapan. Por el apoyo otorgado para generar esta investigación. En especial a Don René secretario de los BCSJC y a Don Rubén presidente de los BCSJ. A Don Vicente por su valioso tiempo al llevarnos por el predio a los puntos de muestreo y compartir con nosotros historias del predio forestal.*

*Gracias a mis profesores: al Dr. Miguel Ángel Valera Pérez por sus consejos y clases de la materia orgánica en suelos forestales.*

*Al Dr. Edgardo Torres Trejo por su paciencia, carisma y el apoyo en la elaboración de los climogramas, y en escalar el polígono de la zona de estudio. Además de tantos momentos divertidos que todos con mucho cariño recordamos en el Congreso de Ciencias Ambientales, en Zacatecas.*

*Al Dr. Eduardo Torres Ramírez por su apoyo en los trámites académicos y su impulso para la realización de la estancia de investigación en la Universidad Politécnica de Madrid.*

*Al Maestro César Calderón Fabían por ser un guía paciente en la enseñanza de los análisis de laboratorio, en el DICA.*

*Al Dr. Jesús Armando Ruíz Careaga por la oportunidad de aprender sobre el suelo en las varias ocasiones que fuimos a campo.*

*A la Dra. Rosalía Castelán Vega y al Dr. Víctor Tamariz por su apoyo y tiempo en la realización y planeación de este trabajo, así como sus enseñanzas en campo para el muestreo de suelos y la descripción de perfiles. Gracias al Dr. Tamariz por el conocimiento brindado en la materia optativa de Temas Selectos para la Evaluación y Manejo de Recursos Naturales.*

*Un especial agradecimiento al Maestro Abel Cruz Montalvo, por sacarme de tantas dudas existenciales, por tus consejos y libros recomendados. Gracias también por enseñarme a realizar correctamente los análisis de suelo en el laboratorio, porque siempre estuviste en las*

*salidas de campo, por la buena música y pláticas en el DICA, por dejarme estudiar y escribir en tú espacio vital (tú cubo).*

*Al Dr. Agustín Rubio Sánchez Quien me recibió en la Universidad Politécnica de Madrid, por la bibliografía recomendada y las clases de cambio climático y forestal que recibí, y por permitirme asistir a las salidas de campo en Jocar.*

*A mis compañeros que me acompañaron en las salidas de campo: Iván y Andrés.*

*Gracias a las personas que conocí en el posgrado, mis compañeros, que sin pensarlo se convirtieron en mis amigos: Eliud, Sayra, Andrés, Yaselda y Canek, especialmente a mi amigo Iván porque fuiste el mejor compañero de viaje que pude tener en esa vivencia, gracias por tú apoyo, consejos, las risas, las sacadas de onda, los intentos de cocinar, las idas al super, la felicidad al encontrar el restaurante de tacos, cuando conocimos a Laurita, las miles de horas de diversión en el tren y metro, y porque perdimos un avión jajaja y supimos actuar hábilmente, gracias Amigo. También quiero agradecer a Sayra, porque nos aventamos a vivir juntas, por aguantar mi relajo y compartir pelis y pulque juntas.*

*Quiero agradecer también a mi colega, el Biólogo Christian Daniel Morán Titla por sus enseñanzas y asesoramiento en el uso del lenguaje R, neta, por más gente así de chida como tú.*

*Gracias a las personas que me apoyaron estando fuera de mí país, a Laura Fuentes, gracias por ser tan linda, hacer algunos guisos españoles, apoyarnos en los últimos días que fueron difíciles y por los ratos de charlas. Celina y Koki, gracias por recibirme y apapacharme tanto. A Christian Muñe por ayudarnos en los últimos días. A Gemma y Sebas por su cariño al conocerme y transmitirme el cariño que le tienes a mis papás.*

*Gracias a las personas que conocí en la Universidad Politécnica de Madrid, a María José, Laura, Klaus y la chica de Irán (ya se me olvidó su nombre). A José Luis y Sigala quienes nos apoyaron también en los últimos días y por lo aprendido en el laboratorio sobre fisiología vegetal.*

*Gracias a mi prima Diana por las pato aventuras en el extranjero, sin ti nada hubiera sido lo mismo, fue un alivio saber que también estabas en el otro lado del mundo.*

*Otras personas, pero también muy especiales son: el Dr. Francisco Bautista Zúñiga a quien admiro por su dedicación, respeto y compromiso hacia la investigación y formación*

*académica, quien impulsó mi interés por la ciencia del suelo, tema complejo, pero del cual me considero ya apasionada. De igual manera al Dr. Rufo Sánchez, a la M. en C. Angie Gallegos y a la M. en C. Anahí Aguilera quienes considero un ejemplo a seguir.*

*En especial, gracias a Antonio Pacheco Rios por tu ayuda en las horas interminables en el laboratorio, por tu esfuerzo en el campo, te rifaste siempre aun cuando te sentías mal. Gracias por que eres lo más bonito que me pasó en el Posgrado, siempre te admiro por tu empeño y dedicación al hacer las cosas. Gracias por ser tan amoroso, tolerante, paciente y atento conmigo. Gracias por aventarnos en los cursos de suelo juntos, me encanta aprender junto a ti, eres el mejor.*