



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE

CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TRADICIONALES
Y CON TECNOLOGÍAS AGROFORESTALES EN XALTEPUXTLA, PUEBLA

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE

Presenta:

SAUDIZAREF RUIZ MORENO

Bajo la supervisión de: Dra. María Edna Álvarez Sánchez

Dr. Jesús David Gómez Díaz



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



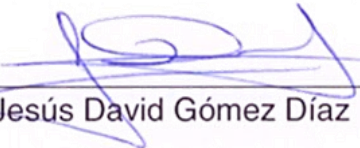
Chapingo, Estado de México, diciembre de 2016

**CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TRADICIONALES Y
CON TECNOLOGÍAS AGROFORESTALES EN XALTEPUXTLA, PUEBLA.**

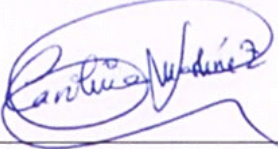
Tesis realizada por **Saudizaref Ruiz Moreno** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

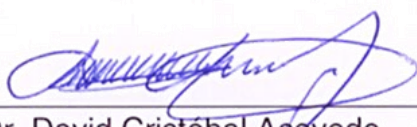
**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

Director: 
Dra. María Edna Álvarez Sánchez

Codirector: 
Dr. Jesús David Gómez Díaz

Asesor: 
Dr. Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez

Asesor: 
Dra. Carolina Martínez Ruiz

Asesor: 
Dr. David Cristóbal Acevedo

DEDICATORIAS

A mamá, por creer en mí e impulsarme cariñosamente a seguir adelante, por tu paciencia, tiempo, amor incondicional y fortaleza que me han sostenido en los días oscuros.

A Mariana por ser la hermana que nunca tuve y brindarme siempre tu apoyo, cariño, confianza y amistad.

A Mauro Salazar e Hiliana Toto por su cariño, comprensión, consejos, confianza y apoyo incondicional.

A Lorena González y Nayeli Gualito por su amistad, palabras de aliento, cariño y apoyo incondicional.

A Leonor García por tu amistad y ánimos en mis días de crisis.

A Oliva Jiménez por tu amistad, consejos y ayuda.

A Betzabe Nava por tu amistad y apoyo.

A Marisol Velázquez, por tu amistad y confianza.

A Lorena López, por tus consejos, amistad, ayuda, resolver mis dudas y ser una guía en el área de estudio.

A Estefanía Rivera y Alma Granados, por sus palabras de aliento.

A Ana Bombín, por brindarme tu amistad, calidez, confianza, las charlas y el café.

Ana Martín y Andrea Martínez gracias por hacerme sentir en casa.

Daphne López por tus consejos y apoyo logístico.

Iosody Silva mil gracias por tu amistad, abrir las puertas de tu casa, los consejos, la planeación del viaje y toda tu confianza.

A mis niños por su amor incondicional y enseñarme que los milagros son posibles y lo más importante en la vida es el amor y la libertad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por siempre guardar mis pasos y poner ángeles en mi camino.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por ambas becas otorgadas.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la Universidad de Valladolid Campus Palencia.

A mi directora María Edna Álvarez Sánchez por su orientación, confianza, amistad y apoyo en la realización de la presente investigación y durante toda la maestría.

A mi codirector Jesús David Gómez Díaz por su guía, conocimientos y tiempo.

A mis profesores asesores Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez, David Cristóbal Acevedo y Hugo Ramírez Maldonado por sus conocimientos, tiempo y guía, durante la presente investigación.

A mi profesora asesora Carolina Martínez Ruiz por su tiempo, conocimientos brindados, confianza, paciencia, humanismo, calidez y apoyo incondicional durante mi estancia de investigación y en la redacción final de la presente memoria de tesis.

A la profesora Belem Turrión por sus conocimientos, tiempo, guía e información brindada.

Al Profesor Mateo Vargas por su valiosa asesoría y tiempo brindado.

A Mario Campos por su guía personal, intelectual y técnica durante la maestría.

A mis compañeros por su solidaridad y respeto.

A la Familia Castelan Salas por las facilidades para trabajar en su predio y el apoyo.

A los medieros Juan y Angelina por su invaluable ayuda en campo, imprescindible para llevar a buen término la presente investigación.

A todas las personas que consulte para esta investigación, por su tiempo y valiosos aportes.

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre: Saudizaref Ruiz Moreno

Fecha de nacimiento: 18 de junio de 1983

Lugar de nacimiento: Toluca, Estado de México

CURP: RUMS830618MMCZRD00

Profesión: Licenciada en Relaciones internacionales

Cedula profesional: 6140298

DESARROLLO ACADÉMICO

Bachillerato: Escuela Nacional Preparatoria #1 Gabino Barreda (UNAM)

Licenciatura: Licenciatura en Relaciones Internacionales. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Objetivos.....	4
1.2. Estructura de la Memoria.....	5
1.3. Literatura citada	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1. Sistemas productivos de Xaltepuxtlá	8
2.1.1. Aspectos históricos	9
2.1.2. Aspectos del Medio biofísico	10
2.2. Impacto de los sistemas de producción de ornamentales en el ecosistema	13
2.2.1. Impacto de los sistemas de producción de ornamentales en la calidad del suelo.....	14
2.3. Indicadores físicos de calidad del suelo.....	14
2.4. Indicadores químicos de calidad del suelo	16
2.5. Indicadores biológicos: la respiración microbiana.....	18
2.6. Prácticas de manejo y su efecto en la calidad del suelo.....	19
2.7. Literatura citada	20
3. DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO E HISTÓRICO DE LA PROPIEDAD PRIVADA OCOTITLA EN XALTEPUXTLA, PUEBLA.....	22
3.1. Resumen/Abstract	22
3.2. Introducción	23
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26

3.3.1.	Localización de la zona de estudio.....	26
3.3.2.	Caracterización de los sistemas de ornamentales	29
3.4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.4.1.	Caracterización histórica	36
3.4.2.	Caracterización biofísica	39
3.5.	Conclusiones	46
3.6.	Literatura citada	48
3.7.	Anexos.....	50
3.7.1.	Modelo de entrevista con medieros.....	50
3.7.2.	Modelo de entrevista con propietarios.....	51
4.	ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO DEL PREDIO OCOTITLA EN XALTEPUXTLA, PUEBLA	52
4.1.	Resumen/Abstract	52
4.2.	Introducción	53
4.3.	Materiales y Métodos.....	55
4.3.1.	Localización de la zona de estudio.....	55
4.3.2.	Estimación de la pérdida de suelo y carbono radicular por extracción de cepellón.....	58
4.3.3.	Estimación del contenido en carbono de los suelos y de la cantidad de carbono que se está perdiendo por cepellón extraído.....	62
4.3.4.	Estimación de la pérdida de carbono (t/ha) en suelo y raíces por extracción de cepellón en cada sistema productivo y para cada especie ..	63

4.3.5. Estimación de la pérdida anual de suelo por sistema productivo y especie	65
4.3.6. Tratamiento estadístico	65
4.4. Resultados y Discusión.....	66
4.4.1. Contenido en carbono de los suelos	66
4.4.2. Pérdida de suelo y carbono en suelo y raíces por cepellón	69
4.4.3. Estimación de la pérdida anual de suelo por sistema productivo y especie	75
4.5. Conclusiones	78
4.6. Literatura citada	80
5. INFLUENCIA DE LAS PRÁCTICAS PRODUCTIVAS DE ORNAMENTALES SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO EN XALTEPUXTLA, PUEBLA	82
5.1. Resumen/Abstract	82
5.2. Introducción	84
5.3. Materiales y Métodos.....	87
5.3.1. Localización de la zona de estudio.....	87
5.3.2. Determinación de la conductividad hidráulica	90
5.3.3. Determinación de la estabilidad de agregados, densidad aparente, respiración microbiana y carbono orgánico en suelo, hojarasca y mantillo.	90
5.3.4. Determinación de textura y nutrientes.....	93
5.3.5. Análisis físicos, químicos y biológico del suelo	93
5.3.6. Tratamiento estadístico	95
5.4. Resultados y Discusión.....	95

5.4.1.	Propiedades físicas	95
5.4.2.	Propiedades químicas relacionadas con la fertilidad.....	100
5.4.3.	Carbono en hojarasca, mantillo y suelo	107
5.4.4.	Respiración microbiana.....	111
5.5.	Conclusiones	115
5.6.	Literatura citada	116
5.7.	Anexos.....	119
5.7.1.	Estabilidad de agregados.....	119
5.7.2.	Textura	121
6.	CONCLUSIONES GENERALES.....	122

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Estaciones meteorológicas utilizadas para caracterizar el clima del área de estudio. *Estaciones meteorológicas del estado de Puebla; **Estaciones meteorológicas del estado de Veracruz.....	32
Cuadro 3.2. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen realizadas por García (1973).	36
Cuadro 3.3. Ecuaciones de regresión lineal simple, generadas para realizar el mapa de temperatura del predio Ocotita, Xaltepuxtla, Puebla. Los altos valores que muestran los coeficientes de determinación (R^2) de todos los modelos son altamente significativos ($p < 0.001$).	42
Cuadro 3.4. Características de los sistemas de cultivo de ornamentales y del relicto de Bosque Mesófilo de Montaña (BMM).	46
Cuadro 4.1. Densidad de planta por hectárea y extracción anual de planta en los siete sistemas productivos para cada especie extraída.	64
Cuadro 4.2. Porcentaje medio ($n=3$) y error estándar del carbono orgánico contenido en los suelos de los 12 sistemas estudiados, a partir del muestreo de los suelos a tres profundidades llevado a cabo en el cuadrante I. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre pares de sistemas, tras comprobar con el ANOVA que hay diferencias significativas entre sistemas.	68
Cuadro 4.3. Valor medio y error estándar de los diferentes parámetros estimados en relación con la pérdida de suelo y carbono por extracción de planta con cepellón, en los siete sistemas productivos seleccionados y para todas las especies extraídas. El peso y la cantidad de carbono se expresan en g y el volumen en cm^3	71

Cuadro 4.4. Valor medio y error estándar (n=9) de los diferentes parámetros estimados en relación con la pérdida de suelo y carbono por extracción de planta con cepellón, en los siete sistemas productivos seleccionados. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) entre sistemas para las distintas variables estimadas.	73
Cuadro 4.5. Valor medio y error estándar de los diferentes parámetros estimados en relación con la pérdida de suelo y carbono por extracción de planta con cepellón, en función de la especie extraída. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) entre especies para los distintas variables estimadas. La Camelia no se incluye en el análisis estadístico por disponer sólo de una planta extraída.	74
Cuadro 4.6. Pérdida de carbono (t/ha) en suelo y raíces por extracción de cepellón, y pérdida anual de suelo, en peso (t/ha) y volumen (m ³ /ha), y de carbono (t/ha), en suelo y raíces, para cada sistema productivo y para cada especie extraída.....	77
Cuadro 5.1. Características de los sistemas de cultivo de ornamentales y del relicto de Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) de la propiedad de Ocotitla, en Xaltepuxtla, Puebla.	89
Cuadro 5.2. Propiedades físicas: textura, estabilidad de agregados (%) y conductividad hidráulica (m/día) de los suelos en los 12 sistemas de la propiedad Ocotitla, Xaltepuxtla, Puebla.	97
Cuadro 5.3. Estabilidad de agregados según la profundidad en los 12 sistemas. Valor medio y error estándar de los datos correspondientes a los 3 círculos por profundidad y sistema.	99

Cuadro 5.4. Resultados de los análisis estadísticos realizados para evaluar la influencia del sistema de producción en las diferentes variables químicas de fertilidad del suelo analizadas.	100
Cuadro 5.5. Valor medio (ppm) y error estándar (n=3) de los micronutrientes analizados en los doce sistemas estudiados (S).	101
Cuadro 5.6. Valor medio y error estándar (n=3) de los macronutrientes analizados en los doce sistemas estudiados (S).	103
Cuadro 5.7. Valor medio y error estándar (n=3) de pH Conductividad eléctrica (CE) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los doce sistemas estudiados.	104
Cuadro 5.8. Contenido de carbono (t/ha) en la hojarasca, mantillo y primeros 45 cm del suelo en los 12 sistemas estudiados. Valor medio y error estándar (n=3). Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.	107
Cuadro 5.9. Contenido de carbono (t/ha) en el suelo a distintas profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), en los 12 sistemas estudiados. Valor medio y error estándar (n=3). Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.	111
Cuadro 5.10. Respiración microbiana ($\text{mg C-CO}_2 \times \text{kg}^{-1}$ de suelo seco $\times \text{día}^{-1}$) en el suelo a distintas profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), en los 12 sistemas estudiados. Valor medio y error estándar (n=3). Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Localización del predio Ocotitla (estrella roja) dentro del polígono rojo que corresponde al APRN Necaxa y APRN Protección Forestal Vedada, en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa. Fuente: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2013).	28
Figura 3.2. Polígono de delimitación del predio Ocotitla en Xaltepuxtla, Puebla. ..	39
Mapa de pendientes	39
Figura 3.3. Mapa de pendientes del predio Ocotitla en Xaltepuxtla, Puebla.	40
Figura 3.4. Mapa fisiográfico del predio Ocotitla con ocho topoformas.....	41
Figura 3.5. Mapa de temperatura media anual del predio Ocotitla en Xaltepuxtla, Puebla.....	43
Figura 3.6. Mapa de los sistemas productivos de ornamentales y relicto de BMM. Las áreas que no tienen color pertenecen a zonas en descanso, las cuales fueron reforestadas en 2012, la estrella roja marca donde se encuentra la casa de los medieros y parte de esa área es ocupada por un pequeño vivero, en el cual venden los ornamentales.....	44
Figura 4.1. Delimitación de la propiedad privada Ocotitla (polígono rosa) en Xaltepuxtla, Puebla, dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa. Fuente: Figura 3.2 en capítulo 3 de esta Memoria de Tesis.	56
Figura 4.2. Sistemas productivos de ornamentales y relicto de Bosque Mesófilo de Montaña identificados en la propiedad de Ocotitla, en en Xaltepuxtla, Puebla. Los siete sistemas productivos marcados con un triángulo son los seleccionados para estimar la pérdida de suelo por extracción de planta con cepellón: Rodolfo, J.L. (José Luis) y Alicia al final de los nombres de los sistemas productivos se refieren a los nombres de sus propietarios; el sistema	

Guayabo es un sistema mixto de azálea y chima en el que recientemente se ha plantado Guayabo (*Psidium guajava*); el sistema mixto de Alicia incluye cedrela, chima, azálea y camelia. Las áreas que no tienen color pertenecen a zonas en descanso, las cuales fueron reforestadas en 2012, la estrella roja marca donde se encuentra la casa de los medieros y parte de esa área es ocupada por un pequeño vivero.58

Figura 4.3. Esquema del sistema de muestreo, basando en la metodología de Etchevers et al. (2005), llevado a cabo dentro de cada sistema de producción de ornamentales con extracción de cepellón.59

Figura 4.4. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena las diferentes combinaciones de especie y sistema productivo en función de las variables estimadas, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 97.1% de la varianza total. Abreviaturas como en Cuadro 4.3. 70

Figura 4.5. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena (a) los sistemas productivos y (b) las especies, en función de las variables estimadas, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 98 y 99.2% respectivamente de la varianza total. Abreviaturas como en Cuadro 4.3. 75

Figura 4.6. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena las diferentes combinaciones de especie y sistema productivo en función de las variables estimadas, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 92.9% de la varianza total. Abreviaturas: AZ= azálea; AR= arrayán; CA= camelia; CE= cedrela; CH= chima; PACR= Pérdida anual de carbono en raíces (t/ha); PACS= Pérdida anual de carbono en suelo (t/ha); PASpeso= Pérdida anual de suelo en peso (t/ha); PASvolu= Pérdida anual de suelo en volumen (m³/ha); CSC= cantidad de carbono que se está perdiendo al extraer suelo por la extracción de planta con cepellón; CRC= cantidad de

carbono que se está perdiendo al extraer raíces por la extracción de planta con cepellón; ver significado de S1-S11 en Cuadro 4.6.	78
Figura 5.1. Mapa de los sistemas productivos de ornamentales y relicto de BMM. Fuente: Figura 3.6 de esta memoria de tesis.	88
Figura 5.2. Esquema del sistema de muestreo de suelo, basando en la metodología de Etchevers et al. (2005), llevado a cabo en los 12 sistemas.....	91
Figura 5.3. Detalle de los parámetros edáficos muestreados en cada cuadrante de una parcela de muestreo (círculo).	92
Figura 5.4. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena los diferentes sistemas productivos (números del 1 al 12 identificados en Cuadro 5.1) en función de las variables químicas del suelo, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 89.9% de la varianza total. Abreviaturas de las variables edáficas como en Cuadro 5.4.	105
Figura 5.5. Valor medio y error estándar (n= 9) del contenido en carbono orgánico de los suelos (t/ha) en los 12 sistemas estudiados, considerando los datos de las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) en cada punto de muestreo (círculo).	109
Figura 5.6. Valor medio y error estándar (n= 36) del contenido en carbono orgánico de los suelos (t/ha) en las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), considerando los datos de los tres puntos de muestreo (círculos) por sistema (12).	110
Figura 5.7. Valor medio y error estándar (n= 9) de la respiración microbiana (mg C-CO ₂ por kg de suelo seco y día) en los 12 sistemas estudiados, considerando los datos de las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) en cada punto de muestreo (círculo).	112

Figura 5.8. Valor medio y error estándar (n= 36) de la respiración microbiana (mg C-CO² por kg de suelo seco y día) en las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), considerando los datos de los tres puntos de muestreo (círculos) por sistema (12).113

RESUMEN GENERAL

CALIDAD DEL SUELO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TRADICIONALES Y CON TECNOLOGÍAS AGROFORESTALES EN XALTEPUXTLA, PUEBLA¹

La presente investigación se realizó en el predio Ocotitla localizado en Xaltepuxtlá, Puebla. La principal actividad económica de la región es el cultivo de ornamentales, el cual conlleva la extracción de cepellón y con ello la pérdida de suelo y un deterioro de sus propiedades. Este trabajo evalúa la calidad del suelo en los sistemas de producción tradicionales y con tecnologías agroforestales en el predio Ocotitla (Xaltepuxtlá, Puebla), mediante la caracterización de diferentes propiedades del suelo y el paisaje, para conocer las implicaciones de las prácticas productivas y del manejo del suelo. Para ello se realizó una caracterización biofísica e histórica de los sistemas productivos. Dicha caracterización fue la base para hacer una estimación de la pérdida de suelo de los sistemas que presentan extracción de ornamentales, finalmente se evaluaron las propiedades químicas, físicas y biológicas de los sistemas para determinar el estado de la calidad edáfica y el impacto que han tenido las actividades antrópicas.

La caracterización permitió identificar en el área de estudio 11 sistemas de producción de ornamentales y un relicto fragmentado de Bosque Mesófilo de Montaña; se corroboraron las malas prácticas de producción y su impacto en las condiciones edáficas de la zona. Respecto a la pérdida de suelo, los resultados muestran que el sistema de producción de azálea es el que presenta mayor pérdida de suelo. De la comparación entre sistemas, se encontró que las propiedades edáficas analizadas, son mejores en el relicto de Bosque Mesófilo de Montaña y en los sistemas donde ya se ha comenzado a implementar prácticas agroforestales sostenibles. Se concluye que a pesar de la actividad antrópica y las malas prácticas de manejo los suelos han conservado su fertilidad, lo cual se puede deber a que son Andosoles mólicos, que por su origen, son fértiles y su primer horizonte es profundo y rico en materia orgánica.

Palabras clave: Caracterización biofísica e Histórica, extracción de cepellón, sistemas productivos de ornamentales, calidad del suelo, Bosque Mesófilo de Montaña, pérdida de suelo.

¹ . Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Saudizaref Ruiz Moreno
Director de tesis: Dra. María Edna Álvarez Sánchez

General abstract
SOIL QUALITY IN TRADITIONAL AND AGROFORESTRY PRODUCTION
SYSTEMS IN XALTEPUXTLA, PUEBLA

This research was conducted in the privately-owned Ocotitla property, located in Xaltepuxtla, Puebla. The main economic activity in the region is ornamental production, which involves the removal of root ball and with it the loss of soil and a deterioration of its properties. This work evaluated the soil quality in traditional and agroforestry production systems in this area, through an edaphic and landscape characterization to explore the implications of production and management practices. As a result, a biophysical and historical characterization of the ornamental production systems was performed. This characterization was the basis for estimating soil loss in ornamental production systems with root ball extraction; finally, the chemical, physical and biological properties of the systems were evaluated to determine the status of the soil quality and the impact that anthropic activities have had. The characterization allowed identifying 11 ornamental production systems and a fragmented cloud forest in the study area; the inadequate production practices and their impact on the edaphic conditions in the area were corroborated. With respect to soil loss the results showed that system eight (azalea) has the greatest soil loss. Finally, the comparison between the systems showed that the analyzed soil properties are better in the fragmented cloud forest. It is concluded that despite the human activity and inadequate management practices, the soils have retained their fertility, which could be because the area is covered by mollic andosols, which by their origin are fertile and their first horizon is deep and rich in organic matter.

Key words: biophysical and historical characterization, removal of roof ball, ornamental production systems, quality soil, cloud forest, loss soil

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

México presenta una situación compleja respecto a la conservación y manejo de los recursos naturales. La comunidad de Xaltepuxtla, enclavada en la Sierra Norte de Puebla, no ha sido la excepción, aunque la región se decretó Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Necaxa en 1938 y, posteriormente, el 9 de noviembre de 2002 se recategorizó como Área de Protección de Recursos Naturales Protectora Forestal Vedada (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2015).

Durante los últimos 70 años, a causa de las actividades antrópicas se han transformado los ecosistemas de la región, ocupados originalmente en su mayoría por Bosque Mesófilo de Montaña. Estos bosques se desmontaron a partir de 1940, cuando se empezó con una extracción forestal descontrolada, provocando la expansión de la frontera agrícola. Éste desmonte continuó durante los 80's por el ingreso de sistemas productivos de ornamentales, principalmente arrayán (*Buxus sempervirens*), azálea (*Rhododendrom indicum*), cedrela (*Juniperus* sp.) y chima (*Chamaesiparis lawsoniana*), actividad que aumentó con el mercado que surgió en 1993 en Tenango de las Flores.

Dicho cambio de uso del suelo ha impactado directamente en la pérdida de biodiversidad, la protección del suelo y en la alteración del ciclo hidrológico de la Cuenca Hidrográfica del río Necaxa, en la que se ubica Xaltepuxtla, al eliminar gran parte de la cubierta vegetal original se ha afectado entre varias cosas el escurrimiento de los cauces de los ríos y arroyos que son aprovechados para la producción de energía eléctrica. Esta situación es preocupante puesto que se trata de una región hidrológica prioritaria dentro del sistema de represas y corredores biológicos de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, que genera el 3% de la energía hidroeléctrica del país (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2011). Por ello, es de vital importancia su restauración y conservación (Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología, 2001).

En el informe de septiembre 2013 de la GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit; en Pulido, Basurto, y Vite, 2013), se indica que de acuerdo al estudio de cambio de uso del suelo en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (Ríos, 2012), sólo el 50% del área tiene una cubierta forestal, aproximadamente el 47% es no forestal y el resto son cuerpos de agua. Lo que sugiere que la zona ha estado sujeta a mucha presión sobre los recursos naturales, por lo que todos los tipos de vegetación presentes son de sucesión secundaria. El Bosque Mesófilo de Montaña ha sido el tipo de vegetación que más superficie ha perdido, principalmente frente a áreas agrícolas y pastizales (Pulido et al., 2013).

En palabras de Williams-Linera (2012), el valor del bosque de niebla radica en la biodiversidad que alberga, la cual se refleja en la presencia de endemismos, o sea, especies únicas a ciertos lugares en este tipo de vegetación, y en la provisión de servicios ambientales, principalmente la captura de agua.

La fase productiva de implementar el cultivo de ornamentales, que inició en los años ochenta, condujo a que se dejaran de producir cultivos tradicionales, esto como consecuencia de responder a las exigencias del nuevo mercado de flores de la región, lo que hizo de estos cultivos una actividad rentable al principio. No obstante, esta transición ha tenido amplias repercusiones, entre las que se pueden mencionar el mal manejo del suelo, desmonte del bosque y un foco de alarma respecto a la degradación de la tierra lo que compromete la seguridad alimentaria de la región.²

El área ha sido cubierta por sistemas de producción de plantas de ornato. En total se encuentran cuatro sistemas productivos principales: chima, arrayán, azálea, y cedrela, dentro de los cuales se presentan hasta 20 subsistemas, como resultado de la combinación entre ellos y/o con cultivos comestibles como tomate, chile y frijol. La chima es el cultivo más extendido, ocupando el 74% del

² Reunión quincenal de medieros. Antecedentes de la reforestación. Comunicación personal. Xaltepuxtlá, Puebla. 09 agosto de 2015.

área destinada a cultivo, y podría verse rentable a largo plazo, debido a la baja inversión que implica y a la duración de su cultivo, además se puede combinar con otras especies. El segundo sistema es el arrayán que, en el corto plazo, parece el sistema más lucrativo, requiere poco tiempo para crecer, a los tres meses se tienen almácigos para la venta y al año se vende como arbusto, pero el impacto ambiental asociado a su cultivo es alto. El tercer sistema es de azálea, se cultiva poco debido a que la demanda es baja; como es afectada por la sombra no se acompaña de otras especies. El cuarto sistema es de cedrela que sólo representa el 2% de la producción (Pulido et al., 2013).

Entre las implicaciones negativas del cultivo de ornamentales en el ecosistema se puede mencionar la extracción de árboles y especies endémicas, las rozas, las quemas de rastrojo, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y la extracción de bancos de tierra y de raíces que conlleva la pérdida de materia orgánica y, con ello, la disminución del horizonte fértil (Chapin, Matson, y Vitousek, 2002). La magnitud del efecto negativo está condicionada por el origen del material parental, las características geomorfológicas (pendiente y orientación de la ladera) y la composición mineral del suelo (Lal, 2005). Si bien estos efectos son conocidos, no existe ningún estudio de la zona que reporte los efectos del tipo de uso del suelo sobre el contenido de carbono edáfico y su influencia en la estructura, porosidad, capacidad de retención de agua disponible, conductividad hidráulica, fertilidad y actividad microbiana, todos ellos, indicadores de la calidad del suelo.

Dada la importancia que tiene conservar el suelo para la realización de actividades productivas sostenibles, este proyecto se enfocó en evaluar la influencia de los sistemas de cultivo de ornamentales en la calidad del suelo en Xaltepuxtlá, Puebla, en comparación con el suelo de un relicto de Bosque Mésófilo de Montaña de sucesión secundaria, para proponer prácticas de manejo óptimas.

Con el presente trabajo se está aportando información a un proyecto que inició en el año 2012. Lo que se ha hecho hasta el momento es combinar un proceso

de restauración, en 10 ha de Bosque Mesófilo de Montaña degradado, y de implementación de tecnologías agroforestales modificando los sistemas tradicionales de producción para la conservación y protección de los Recursos Naturales del socioagrosistema, en el predio de Ocotitla, comunidad de Xaltepuxtla, Puebla.

Dentro de este proceso de conservación del Bosque Mesófilo de Montaña del APRN Necaxa se busca favorecer la revegetación y el manejo de prácticas agrícolas óptimas (Pulido et al., 2013).

Se espera, además, que la difusión de los resultados de este trabajo contribuya a concientizar a la población e instituciones para que se emprendan acciones que tomen en cuenta la realidad ecológica y social y puedan tener una concreción efectiva; mejorando la calidad de vida de la población y con ello impulsándola a que implemente prácticas sostenibles y cuide del medio que la rodea. Además de sensibilizar a los representantes de la secretaría del medio ambiente para conocer de cerca las necesidades y carencias de la población, entender su realidad desde un entorno holístico y trabajar de la mano con la gente. Puesto que sólo la cooperación entre comunidades, líderes comunitarios, y organizaciones gubernamentales de los tres órdenes (municipal, estatal y federal) podrá llevar a buen puerto las políticas de desarrollo y sostenibilidad implementadas en el país.

1.1. Objetivos

El objetivo general que se pretende alcanzar con este trabajo es evaluar la calidad del suelo en diferentes sistemas de producción tradicionales y con tecnologías agroforestales en Xaltepuxtla, Puebla, mediante la caracterización de diferentes propiedades del suelo y del paisaje así como las prácticas de manejo con el propósito de proponer buenas prácticas de manejo.

Para la consecución del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

Caracterizar la zona de estudio a través del componente biofísico e histórico de los sistemas de producción, para analizar la influencia de las actividades antrópicas en el componente ecológico.

Estimar pérdida de suelo por extracción de bancos de tierra en cada sistema productivo mediante la medición de volumen y peso del suelo y radical, para determinar el efecto del manejo en la degradación y pérdida de suelo.

Comparar la calidad del suelo de los diferentes sistemas de producción, a través de indicadores químicos, físicos y biológicos, para proponer buenas prácticas de manejo.

1.2. Estructura de la Memoria

Además del presente capítulo introductorio (**capítulo 1**), esta memoria de Tesis de Maestría se ha organizado en cuatro capítulos más.

El siguiente capítulo (**capítulo 2**) incluye un análisis del estado del conocimiento respecto al problema estudiado en la Tesis.

Los siguientes tres capítulos (**capítulos 3 a 5**) recogen los resultados de los trabajos realizados para el desarrollo de los objetivos propuestos. Estos capítulos se corresponden con artículos científicos que serán sometidos a revistas científicas especializadas para su publicación; sin embargo, su redacción se ha hecho con base en lo establecido en el Manual para la Elaboración del Documento de Graduación (Universidad Autónoma Chapingo, 2016). Al mantener los capítulos de resultados la estructura de artículos, algunas secciones (como el área de estudio o la metodología) podrán resultar redundantes. Los tres capítulos con formato de artículo corresponden a las tres fases en las que se dividió la investigación que, a su vez, se corresponden con los tres objetivos específicos planteados.

La primera fase respondió al **objetivo uno** que es la caracterización de los sistemas agroforestales, desde el punto de vista biofísico e histórico, en el predio de Ocotitla, localizado en Xaltepuxtla, Puebla (**capítulo 3**). Para ello se

cartografiaron las condiciones fisiográficas que caracterizan los sistemas (topoformas, clima, uso del suelo y vegetación) y se construyó una línea del tiempo que permitió determinar cuál ha sido la evolución del uso del suelo hasta el presente. Con ello, además de conseguir identificar los principales sistemas productivos de ornamentales, se puede comprender la evolución del ecosistema local y su manejo en el tiempo.

La segunda fase se enfocó en la evaluación de extracción de cepellón y las implicaciones de la extracción de esos bancos de tierra en la pérdida de suelo (**capítulo 4**). El trabajo interrelaciona la densidad de planta, la venta anual y el tamaño de cepellón por planta, para obtener las toneladas de suelo pérdidas por año en cada sistema en el que se extrae planta y por especie de planta extraída.

La tercera fase se centró en la determinación de la calidad del suelo (**capítulo 5**) asociada a los diferentes sistemas productivos, a través de indicadores físicos (textura, densidad aparente, estabilidad de agregados y conductividad hidráulica), químicos (Carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica y nutrientes) y biológicos (respiración microbiana), en comparación con un relicto de bosque.

Finalmente, en el **capítulo 6** se recogen las conclusiones generales obtenidas.

1.3. Literatura citada

Chapin III, F. S., Matson, P. A., y Vitousek, P. (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. USA: Springer Science & Business Media.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2015). Los datos se obtuvieron de la página: <http://regiongolfodemexico.conanp.gob.mx/rionecaxa.php#.VOa9keaG-vw>. 12 de abril de 2015. 14:20

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2011). *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. México: CONABIO, Gobierno del Estado de Puebla & BUAP.

Coordinación General de estudios de posgrado. (2016). *Manual para la elaboración de documento de graduación*. México: UACH.

- Lal, R. (2005). Soil erosion and carbon dynamics. *Soil and Tillage Research*, 81, 137-142.
- Pulido S. M., Basurto P. F., & Vite R. A. (2013). *Diagnóstico de sistemas productivos para mejorar y proteger los recursos naturales vitales a escala predio y su extrapolación a municipio*. México: CONANP-GIZ.
- Ríos S., G.A. (2012). *Cambio climático y gestión de áreas naturales protegidas*. México: GIZ.
- Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología. (2001). *Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial de las cuencas hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan*. Texcoco, México: Documento interno.
- Williams-Linera, G. (2012). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. México: CONABIO.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistemas productivos de Xaltepuxtla

El predio de Ocotitla pertenece a la comunidad de Xaltepuxtla (Puebla) e incluye tres terrenos, en los cuales hay cuatro sistemas productivos de ornamentales: arrayán (*Buxus sempervirens*), azálea (*Rhododendrom indicum*), cedrela (*Juniperus* sp.) y chima (*Chamaesiparis lawsoniana*). A su vez se combinan entre ellos o con cultivos de comestibles como tomate, chile y frijol en 20 subsistemas, siendo más frecuentes las combinaciones dentro del sistema chima.

De acuerdo con el diagnóstico que hace Pulido, Basurto, y Vite (2013) sobre los sistemas productivos de Xaltepuxtla, a continuación se describen, de una manera muy resumida, las principales características de los cuatro sistemas productivos de ornamentales que representan la principal actividad económica de los medieros (arrendatarios).

El sistema que ocupa el primer lugar en orden de importancia es la chima. Se trata de un cultivo que necesita luz y suelos no pedregosos por lo que los árboles grandes inhiben su crecimiento. A su vez, se puede intercalar con azálea, camelia y arrayán. Se utiliza como follaje (biomasa aérea) y árbol de Navidad con extracción de cepellón. Este cultivo requiere de dos podas al año para formar el árbol de Navidad, y tarda entre 4 y 5 años para alcanzar la talla de árbol. Es susceptible al trozador palomillo (*Agrotis ipsilon*), por lo cual se fumiga con Foley (Clorpirifos etil y permetrina).

El arrayán es un monocultivo, el cual puede interactuar con un árbol nativo que le proporcione sombra para proteger el semillero. Si no cuenta con un árbol que cumpla esta función, se recurre a tapados de ocopetate (*Pteridium aquilinum*). Dichos semilleros requieren de 5 meses de sombra y posteriormente sol directo. Es un cultivo susceptible a las heladas y puede presentar pérdida por sequía, inundación o deslave. Para obtener más plantas, los esquejes se obtienen de las podas de las puntas de 10, 000 arbustos, los cuales proporcionan 20 mil

plantas, cuyos trasplantes se realizan dos veces al año, en los meses de julio y octubre. El suelo se fertiliza dos veces al año con 3 toneladas de gallinaza, y una mezcla de media tonelada de urea y triple 17 (17N:17P:17K). Anteriormente, el manejo del suelo para este cultivo era preocupante ya que la planta se cosechaba completa, es decir con banco de tierra y las parcelas no descansan entre ciclos. En la actualidad se extrae a raíz desnuda. En algunas parcelas se opta por la siembra de chima porque el arrayán es atacado por la gallina ciega. Respecto a la productividad, si se tienen los cuidados adecuados en un año y tres meses se tienen plantas de 60 cm de altura.

El tercer cultivo es la azálea, que necesita de luz. Las puntas de este cultivo son afectadas por las heladas. Su reproducción es a través de esquejes (puntas) y se realiza en temporada de lluvias (julio-agosto). Al contrario que el arrayán, la azálea se extrae con cepellón para su venta. El despunte se realiza en semilleros de un año y al podarla se fertiliza primero con gallinaza y posteriormente con sulfato y urea. Cuando florea se vende más, aunque la variedad que se cotiza mejor en el mercado es la azálea fina (para flor), no obstante, es más difícil producirla.

La cedrela se posiciona como el cuarto cultivo. Ésta se puede vender como rama o como árbol con cepellón, pero se debe decidir desde el principio, porque las podas que se utilizan para darle forma de árbol de Navidad se realizan en enero y junio. Para realizar el primer corte la planta debe tener dos años y se debe realizar un despunte para que se ensanche.

2.1.1. Aspectos históricos

La información del uso del suelo es importante para medir algunos atributos de la caracterización biofísica. Bajo este contexto es necesario trabajar una línea de tiempo que aporte información del uso y manejo del suelo en el pasado. En palabras de Apollin y Eberhart (1999), *“un diagnóstico no debe limitarse al inventario de las restricciones agro-ecológicas y las potencialidades del mercado, debe también incluir un análisis histórico que permita entender la evolución a través del tiempo del ecosistema local, de las relaciones sociales,*

de los modos de explotación del medio y finalmente de los distintos sistemas de producción, con el fin de explicar cómo se diferenciaron los distintos tipos de productores”.

Según los autores indicados este análisis histórico debe contener la sabiduría campesina y las innovaciones introducidas en los últimos periodos; además de identificar los tipos de sistemas de producción practicados y comprender a qué incentivos socioeconómicos han respondido. De esta forma se logrará tener una visión integral.

Cabe destacar que el área estudiada es una zona de asentamientos indígenas nahuas, quienes son los medieros, trabajadores que por cuestiones culturales e históricas han perdido sus tierras y hoy las trabajan pero ya no son de ellos.

2.1.2. Aspectos del Medio biofísico

En el informe que presenta Pulido et al. (2013) se confirma el cambio de uso del suelo desde Bosque Mesófilo de Montaña a pastizales y cultivos agrícolas. Dicho cambio de uso del suelo ha obstruido la conservación de la vegetación forestal, conllevando una acción erosiva en los terrenos con pendiente, lo que ha ocasionado un acarreo de materiales a los vasos de almacenamiento y obstaculizado su funcionamiento (Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología, 2001).

Ahora bien, dentro de los predios a estudiar no se encuentra una agricultura tradicional, es decir, maíz o cultivos comestibles, la transición ha sido hacia el cultivo de especies ornamentales, debido a que la actividad económica preponderante es la venta de ornamentales arbustivas.

El manejo de las especies de ornamentales constituyó una de las principales variables a estudiar dentro de la investigación, ya que debido a su venta requiere de la extracción de algunas especies con banco de tierra lo que, a medio plazo, pudiera derivar en procesos degradativos del suelo, los cuales están causando pérdida del horizonte fértil y erosión.

La población de Xaltepuxtla forma parte del Bosque Mesófilo de Montaña, el cual se encuentra fragmentado debido a actividades antrópicas que han disminuido su capacidad y biodiversidad.

El concepto Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) lo utilizó Miranda (1947) para referirse a una comunidad vegetal presente en la cuenca del río Balsas, donde predominan elementos tropicales de montaña, entremezclados con otros típicamente boreales, y donde las condiciones de humedad son favorables, lo que ha resultado en una riqueza florística con abundancia de trepadoras y epífitas (Villaseñor, 2010).

Rzedowsky (1978) formalizó el nombre BMM para incluir a las comunidades con características similares en todo el territorio nacional, mientras que Miranda y Xolocotzi (1963) lo reconocieron como bosque caducifolio en su clasificación. Sin embargo, cabe destacar que la diferencia entre el Bosque Mesófilo de Montaña y el caducifolio, es que en el primero predomina la condición siempre verde, mientras que en el segundo predominan árboles de hoja decidua. Aunque su comportamiento fenológico es diferente, sus similitudes fisonómicas, ecológicas y florísticas son altamente significativas; por lo cual, pueden acomodarse dentro de una misma categoría.

El Bosque Mesófilo de Montaña en nuestro país corresponde al clima húmedo de altura, ocupa sitios más húmedos que los ocupados por los bosques de *Quercus* y de *Pinus*, y generalmente más cálidos que los propios del bosque de *Abies*, pero más frescos que los que condicionan la existencia de los bosques tropicales (Rzedowsky, 1978).

El bosque de niebla es un conjunto de ecosistemas de montaña que se caracteriza por la presencia de árboles en varios estratos, por la abundancia de helechos, una gran cantidad de epífitas, y, sobre todo, por las lluvias frecuentes, nubosidad, neblina y humedad atmosférica alta durante todo el año. Debido a estas condiciones el bosque de niebla es uno de los ecosistemas más diversos y ahí radica su valor. Dicha diversidad se refleja en la presencia de

endemismos, o sea especies únicas a ciertos lugares en este tipo de vegetación, y en la provisión de servicios ambientales, principalmente la captura de agua (Williams-Linera, 2012), teniendo en cuenta que la precipitación anual no es inferior a 1000 mm y en algunas zonas supera los 3000 mm (Rzedowsky, 1978).

En México el bosque de niebla se encuentra en el 0.8% del territorio. Aunque parezca muy pequeña la superficie que ocupa, la diversidad de plantas que alberga es importante, ya que contiene alrededor de 2500 especies de flora y fauna (Rzedowsky, 1996). Dicho número de especies representa entre el 10-12 % del total de especies estimadas para nuestro país, lo que lo vuelve el bosque más diverso. La forma biológica más diversa dentro del bosque la conforman las plantas epífitas, que han desarrollado un conjunto de adaptaciones estructurales y funcionales para ocupar los diferentes nichos de dosel del bosque. Por ello, dependen de los árboles hospederos como soporte físico, no obstante no toman nutrientes de ellos. Las epífitas representan el 32% de las especies vegetales de este tipo de bosques los árboles el 18%, las hierbas y arbustos el 24% y finalmente los bejucos (plantas guiadoras trepadoras) un 2% (Williams-Linera, 2012). Su distribución se extiende desde el suroeste de Tamaulipas hasta el norte de Oaxaca, incluyendo porciones de San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla (Rzedowsky, 1978).

Debido a la heterogeneidad topográfica y microambiental, el bosque de niebla tiene una gran riqueza ecológica; la flora, fauna y hongos de este bosque componen una biota muy diversa. Justamente esta riqueza ecológica requiere una variedad de hábitats, lo que implica cambios en distancias cortas en las interacciones abióticas y bióticas, en la estructura de la vegetación, así como en la distribución y composición de los nichos ecológicos, lo que influye en los patrones de diversidad de la biota (Williams-Linera, 2012).

2.2. Impacto de los sistemas de producción de ornamentales en el ecosistema

La cuenca del Río Necaxa presenta un relieve dominado por serranías y sierras abruptas, en el cual la erosión natural ha ido adelgazando los suelos. Estos son aptos para la actividad forestal pero, dadas las necesidades de la población, se han aprovechado para la extracción descontrolada de recursos forestales y se ha expandido la frontera agrícola. El problema de estos cambios en los usos del suelo radica en que los suelos de la región tienen una estabilidad relativa, basada en una cubierta vegetal arbórea que si se quita los hace inestables, propensos a la erosión y a los deslizamientos; especialmente, en las áreas donde se tiene un sustrato geológico sedimentario, plegado y fracturado, que corresponde con las zonas de barrancas de las cuencas en más de la mitad de su superficie (Universidad Autónoma Chapingo & Instituto Nacional de Ecología, 2001).

Las actividades antrópicas no han tomado en cuenta las características del suelo y se han centrado en la producción de plantas de ornato, actividad que responde al mercado de plantas de Tenango de las Flores.

En la región se producen arrayán, azálea, chima, cedrela y camelia. La implementación de dichos cultivos ha perpetrado la deforestación y un inminente cambio de uso del suelo, transformando y degradando principalmente el Bosque Mesófilo de Montaña (Ríos, 2012). Con ello, han disminuido de manera considerable los niveles de captación de los vasos de almacenamiento, además de empobrecer los suelos, formar cárcavas, modificar el clima y aumentar las inundaciones, deslizamientos e incendios forestales (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2013). A lo anterior se deben sumar las prácticas de manejo dentro de los sistemas productivos de ornamentales, como son la extracción de la planta con cepellón, el uso de azadón para eliminar las arvenses, así como la extracción de suelo para vender como sustrato. Mismas que han agudizado los problemas antes mencionados.

2.2.1. Impacto de los sistemas de producción de ornamentales en la calidad del suelo

A finales de la década de los ochenta, con el informe Bruntland, inició la preocupación por la sostenibilidad ambiental. Esto dio paso en los noventa a que se retomara el concepto de calidad de suelo por diversos autores, la mayoría enfocándolo al manejo sostenible de éste (Karlen, Ditzler, y Andrews, 2003).

En palabras de Doran y Parkin (1994), el interés de evaluar la calidad de las propiedades del suelo fue estimulado por la creciente concientización de que el suelo era un componente fundamental para la biosfera terrestre; dado que es un cuerpo dinámico vivo y natural que realiza diferentes funciones en los ecosistemas. Los componentes del suelo incluyen materia mineral orgánica e inorgánica, agua, gases y organismos vivos como insectos, bacterias, hongos, algas y nematodos. Hay un intercambio continuo de iones y moléculas entre las fases líquida, sólida y gaseosa, las cuales son medidas por los procesos químicos, físicos y biológicos.

En este sentido, la calidad del suelo es definida como *“la capacidad continua del suelo para funcionar como un sistema vivo dentro de un ecosistema, sostener la productividad biológica y promover la calidad del aire, agua y mantener la salud vegetal, animal y humana”* (Doran & Safley, 1997).

Los indicadores de calidad de suelo son las propiedades químicas, físicas y biológicas que pueden ser medidas a través de procesos establecidos para evaluar la calidad del suelo (Kheyrodin, 2014).

2.3. Indicadores físicos de calidad del suelo

Navarro, Figueroa, Martínez, González, y Osuna (2008) mencionan que el manejo físico del suelo implica optimizar, en la zona de las raíces de las plantas, las propiedades físicas, tales como: estructura, porosidad, infiltración, retención de agua, entre otras; que son importantes para el manejo sustentable del recurso e identificación de indicadores físicos del suelo.

Además, para cuantificar la calidad física del suelo, los indicadores necesitan ser medidos espacialmente a través de la evaluación de las propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas). Además, algunas de las propiedades del suelo son más sensibles a cambios generados por las prácticas de manejo, por lo que sus valores se podrían utilizar como indicadores de la calidad de los suelos. En la presente investigación los indicadores físicos de calidad del suelo que se van a evaluar son: textura, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados.

Textura: La fracción mineral del suelo está constituida por dos tipos de partículas, las primarias y secundarias; la unión de dos o más partículas primarias da lugar a una secundaria. A su vez, las partículas del suelo son clasificadas en tres categorías: arenas, limos y arcillas, dado que no tienen la misma forma son clasificadas de acuerdo a su diámetro. La ligereza o pesadez del suelo se debe al contenido de arenas, limos y arcillas, y se le conoce como textura del suelo. La textura está ligada a la fertilidad y productividad del suelo (Osman, 2012).

Conductividad hidráulica: La conductividad hidráulica es un parámetro que debe ser determinado con la mayor precisión posible, ya que es una de las propiedades físicas del suelo más importantes, porque caracteriza las condiciones de flujo de agua interna del suelo en un determinado lugar. Se define conductividad hidráulica como la velocidad aparente por unidad de gradiente hidráulico.

Cabe destacar que en la determinación de la conductividad hidráulica hay diversos factores que la afectan; algunos de éstos dependen o son el resultado de las características del propio suelo, y algunos más son el resultado de la interacción entre el fluido y el medio. Entre estos factores se encuentran la concentración del agua, la temperatura, la salinidad, la mesofauna, la porosidad y la permeabilidad, entre otros.

La conductividad hidráulica se puede determinar por diferentes procedimientos, los cuales van a depender del objetivo, precisión, tipo de suelo y tiempo disponible. Se enuncia que los métodos de campo son más adecuados para determinar este parámetro, afirmando que las mediciones realizadas, además de hacerse directamente sobre el terreno son confiables si se realizan correctamente. Además, involucran volúmenes mayores de suelo, por lo que el resultado obtenido es más representativo. Uno de los métodos más utilizados por cumplir con las características anteriores es el del pozo barrenado (Tafur & Gómez, 1990), utilizado en este estudio.

Estabilidad de agregados: La estructura del suelo es un elemento clave en su funcionamiento y está ligada a su habilidad para mantener la vida animal y vegetal y proteger el medioambiente. La estructura del suelo está formada por agregados, los cuales tienen diversos tamaños y formas. La formación y preservación de estos agregados contribuyen a la conservación de la materia orgánica (Osman, 2012).

2.4. Indicadores químicos de calidad del suelo

Se refieren a las condiciones químicas que afectan a las relaciones suelo-planta, calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo y disponibilidad de nutrientes para plantas y microorganismos. Los que se van a evaluar en la presente investigación son: carbono orgánico del suelo y nutrientes.

Carbono orgánico: El ciclo del carbono inicia con la fijación de anhídrido carbónico a través de los procesos de fotosíntesis. De esta forma reaccionan anhídrido carbónico y agua formando carbohidratos y liberando oxígeno. Los carbohidratos son energía para la planta y el anhídrido carbónico se libera a través de hojas y raíces.

Al incorporar las plantas dióxido de carbono en su proceso de fotosíntesis, éste participa en el desarrollo del árbol desde las raíces hasta el follaje. Mientras el carbono se encuentre en parte de la estructura del árbol se considera

almacenado. Es liberado, cuando aporta materia orgánica y ésta se descompone o por la quema de la biomasa (Ordoñez, 1999).

Hacer una determinación de carbono en la zona, permite cuantificar y valorar los aportes de la captura de carbono mediante los sistemas de producción de ornamentales, los reservorios que deben considerarse para la determinación de carbono se encuentran en la parte aérea y subterránea de los sistemas.

Cabe destacar que la parte aérea de los sistemas forestales está constituida por árboles, arbustos, hierbas y hojarasca (mantillo). En los ecosistemas agrícolas la parte aérea la constituyen plantas o árboles anuales, residuos de cultivos que al descomponerse forman materia orgánica y hierba (Etchevers et al., 2005). Los sistemas agroforestales están constituidos por árboles (perennes), plantas anuales (cultivos) y pastos.

La parte subterránea de los sistemas la podemos dividir en dos, la mineral formada por la materia orgánica y la biótica conformada por raíces y residuos orgánicos sin descomponer (Etchevers et al., 2005).

Los responsables del aporte de carbono al suelo son los residuos orgánicos provenientes de la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea así como de la micro, meso y macrofauna. Según Dumanski (2004), al incrementarse la materia orgánica del suelo (MOS) se obtienen considerables beneficios ambientales, tales como la mejora en la agregación del suelo que conlleva una mejor aireación, reduce la erosión del suelo, mejora la infiltración y la calidad del suelo y subsuelo; además de estimular su biodiversidad. Todo ello repercute positivamente en la resiliencia del suelo, definida como la habilidad que tiene para restaurarse a sí mismo.

Los nutrientes que provee esta materia orgánica mejoran la fertilidad del suelo; no obstante la cantidad y calidad de la materia orgánica es importante y es el resultado de buenas prácticas de manejo de la tierra. Además, si este

incremento de MOS se realiza a través de secuestro de COS mejora el ciclaje de nutrientes y esto ocurre en casi todos los ecosistemas terrestres y acuáticos.

En palabras de Shumacher (2002), la determinación del carbono total orgánico va a depender de la calidad de la materia orgánica. Ahora bien, el principio básico para la cuantificación de carbono orgánico total es que el contenido de carbono orgánico total depende de la destrucción de materia orgánica presente en el suelo y los sedimentos. La destrucción de la materia orgánica puede ser realizada químicamente o vía calor a altas temperaturas. Todas las formas de carbono en una muestra son convertidas en dióxido de carbono, el cual es medido directa o indirectamente y convertido en carbono orgánico total o contenido de carbono total. Estos métodos pueden ser cuantitativos o semicuantitativos dependiendo del proceso usado para destruir la materia orgánica.

Nutrientes: La fertilidad del suelo es la capacidad de éste para suministrar nutrientes a las plantas, en la cantidad adecuada para un crecimiento y reproducción normales. Dichos nutrientes son 17 elementos entre los que podemos mencionar C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mo, B, Zn, Cl y Ni; esenciales en el ciclo de vida de las plantas y son base de las funciones fisiológicas de éstas. La carencia o exceso de alguno impacta en su crecimiento (Osman, 2012).

Cabe destacar que la fertilidad del suelo se debe a complejas interacciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

2.5. Indicadores biológicos: la respiración microbiana

Los indicadores biológicos están relacionados con la actividad de micro y macro organismos. Se considera a la materia orgánica como el indicador más significativo de la calidad de suelo, puesto que es el componente fundamental para mantener la estructura del mismo, permitir la infiltración del agua y ser un almacén de nutrientes. Por ello el cambio de uso del suelo puede disminuir de

forma drástica el contenido de materia orgánica al eliminar el aporte de residuos vegetales.

Ahora bien, un suelo con alto contenido de materia orgánica presenta una gran actividad microbiana, la cual es responsable de la mineralización y humificación de la materia orgánica. Dicha actividad microbiana está vinculada con procesos en que participan elementos fundamentales en el suelo (C, N, P y S), así como todas las transformaciones en que interviene la biomasa microbiana de dicho suelo (García & Hernández, 2004).

Los microorganismos juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica de suelo y en el ciclaje de nutrientes, razón por la cual la actividad microbiana es fundamental para mantener la fertilidad del suelo (Alef & Nannipieri, 1995). La actividad microbiana puede ser medida por un indicador que es la respiración microbiana, definida como la absorción de oxígeno o la liberación de dióxido de carbono por bacterias, hongos, algas y protozoos.

2.6. Prácticas de manejo y su efecto en la calidad del suelo

La calidad del suelo es un concepto que sostiene que el manejo de un suelo puede deteriorar, estabilizar o mejorar sus funciones dentro de un ecosistema. Los indicadores de dicha calidad son el estado de las propiedades químicas, físicas y biológicas.

El suelo es un recurso natural no renovable vital para la existencia humana y que provee importantes funciones al ecosistema entre ellas, sostener la actividad y producción biológica, regular el flujo de agua y solutos, filtrar y amortiguar los materiales orgánicos e inorgánicos (Jenny, 1980; Larson & Pierce, 1991). El contenido de materia orgánica del suelo es de vital importancia para sostener dichas funciones (Franzlubbers, 2002).

Las actividades antrópicas que suponen un manejo que afecte alguna de las propiedades del suelo, disminuyen su funcionalidad, volviéndolo frágil y blanco

de sufrir erosión, pérdida de materia orgánica, contaminación, salinización, pérdida de biodiversidad e inundaciones.

2.7. Literatura citada

- Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Londres: Academic Press.
- Apollin, F., & Eberhart, C. (1999). *Análisis y diagnóstico de los sistemas de producción en el medio rural Guía metodológica*. Ecuador: Camaren.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2013). *Estudio Previo Justificativo para la modificación de la Declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales "Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa" ubicada en los estados de Hidalgo y Puebla*. México: CONAP.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicsek & B.A. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 3-21). SSSA Special Publication No. 35. Madison, WI: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Doran, J. W., & Safley, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In C. Pankhurst, B.M. Doube & V. Gupta (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health* (pp. 1-28). Wallingford: CAB International.
- Dumanski, J. (2004). Carbon sequestration, soil conservation, and the Kyoto Protocol: Summary of implications. *Climate Change*, 65, 255-261.
- Etchevers, J. D., Monreal, C. M., Hidalgo, C., Acosta, M., J. Padilla, C., & López, R. M. (2005). *Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas*. México: Colegio de Postgraduados.
- Franzluebbers, A. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66, 95-106.
- García, C. & Hernández, T. (2004). *Importancia de la medida de la actividad microbiana en suelos y materiales orgánicos*. I conferencia internacional: Eco biología del suelo y el compost. León, España.
- Jenny, H. (1980). *The soil resource: Origin and behavior*. Ecological Studies 37. New York: Springer-Verlag.
- Karlen, D. L., Ditzler, C. A., & Andrews, S. S. (2003). Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114(3), 145-156.
- Kheyrodin, H. (2014). Important of soil quality and soil agriculture indicators. *Academia Journal of Agricultural Research*, 2(11), 231-238.

- Larson, W. E., & Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, Vol. 2 (pp. 175- 203), Technical papers. Bangkok, Thailand: International Board for Research and Management. IBSRAM Proceedings No. 12(2).
- Miranda, F. (1947). Estudios sobre la vegetación de México –V. Rasgos de la vegetación en la Cuenca del Río de las Balsas. *Revista de la sociedad Mexicana de Historia Natural*, 8, 95-113.
- Miranda, F., & Xolocotzi, E. H. (1963). *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*. Mexico: Colegio de Postgraduados y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Navarro Bravo, A., Figueroa Sandoval, B., Martínez Menes, M., González Cossio, F., & Osuna Ceja, E. S. (2008). Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agricultura técnica en México*, 34(2), 151-158.
- Ordoñez Díaz, J. A. B. (1999). *Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*. México: SEMARNAP.
- Osman, K. T. (2012). *Soils: principles, properties and management*. Springer.
- Pulido, S. M., Basurto, P. F., & Vite, R.A. (2013). *Diagnóstico de sistemas productivos para mejorar y proteger los recursos naturales vitales a escala predio y su extrapolación a municipio*. México: CONANP-GIZ.
- Ríos S., G. A. (2012). *Cambio climático y gestión de áreas naturales protegidas*. México: GIZ.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: Limusa.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botanica Mexicana*, 35, 25-44.
- Schumacher, B. A. (2002). *Methods for the determination of total organic carbon (toc) in soils and sediments*. USA: ERACS.
- Tafur, H. H., & J. Gómez (1990). Estudio de las características del drenaje de un suelo orgánico del páramo de las papas, cauca. *Acta Agronómica*, 40 (3-4), 54-161.
- Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología. (2001). *Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial de las cuencas hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan*. Texcoco, México: Documento interno.
- Villaseñor, J. L. (2010). *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico*. México: CONABIO & UNAM.
- Williams-Linera, G. (2012). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. México: CONABIO.

3. DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO E HISTÓRICO DE LA PROPIEDAD PRIVADA OCOTITLA EN XALTEPUXTLA, PUEBLA³

3.1. Resumen/Abstract

La investigación consistió en un diagnóstico biofísico e histórico del uso y manejo del suelo en el predio de Ocotitla, localizado en Xaltepuxtlá, Puebla. Con ello, se pretende identificar los sistemas productivos de ornamentales y analizar el impacto que han tenido estas actividades antrópicas en el tiempo. La comunidad de Xaltepuxtlá, Puebla, se encuentra enclavada en la Sierra Norte de Puebla y forma parte del Área de Protección de Recursos Naturales de la Cuenca hidrográfica del Río Necaxa. Pertenece al Municipio de Tlaola y su comunidad cuenta con 3, 761 habitantes, en su mayoría indígenas y con alto grado de marginación. La principal actividad económica es el cultivo de ornamentales, que conlleva la extracción de cepellón y, con ello, pérdida de suelo, así como degradación y un impacto negativo en la calidad de las propiedades edáficas. La metodología empleada permitió identificar en el área de estudio 11 sistemas de producción de ornamentales y un relicto fragmentado de Bosque Mesófilo de Montaña. Asimismo, con base en los recorridos de campo y las entrevistas realizadas a propietarios y trabajadores se pudieron corroborar las malas prácticas de producción y su impacto en las condiciones edáficas de la zona.

Palabras clave: caracterización biofísica e histórica, cultivos ornamentales, Bosque Mesófilo de Montaña, manejo del suelo.

BIOPHYSIC AND HISTORICAL DIAGNOSIS OF THE OCOTITLA'S PRIVATE PROPERTY IN XALTEPUXTLA, PUEBLA

The research consisted in a biophysical and historical diagnosis about the use and management of the soil in the Ocotitla property, located in Xaltepuxtlá, Puebla. The purpose was to identify the ornamental production systems and to

³. Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Saudizaref Ruiz Moreno
Director de tesis: Dra. María Edna Álvarez Sánchez

analyze the impact of such a human activity along time. The Xaltepuxtlá community is located in the Sierra Norte of Puebla and it is part of a natural resources area that is protected, and named as 'Natural Resources Protection Area' of the Necaxa River Watershed. Xaltepuxtlá belongs to the municipality of Tlaola. The community has 3, 761 inhabitants, most of the population is native indigenous with high degree of social exclusion and poverty. The main economic activity is the ornamental plants cultivation, which involves the extraction of the root ball and results on the soil loss and degradation, having a negative impact on the quality of soil properties. The methodology allowed us to identify, in the study area, 11 ornamental plant systems and a fragmented relict of mountain cloud forest. In addition, based on field observations and interviews with owners and workers, they were able to confirm the bad production practices and their impact on soil conditions in the area.

Key words: biophysical and historical characterization, ornamental crops, mountain cloud forest, soil management.

3.2. Introducción

La importancia de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, enclavada en la Sierra Norte de Puebla, donde se ubica el área a estudiar (en Xaltepuxtlá), se remonta a 1938, cuando se decretó Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Necaxa puesto que era uno de los sitios generadores de energía hidroeléctrica del país. Con esta figura de protección se pretendía garantizar la conservación de los recursos naturales (producción de madera, revegetación y conservación de la diversidad biológica) y la protección de la cuenca para mantener el caudal de los afluentes y minimizar los sedimentos en estos para reducir el asolve de las presas. Sin embargo, durante las siguientes décadas la explotación de los recursos forestales se realizó indiscriminadamente y tuvo lugar un importante cambio en los usos del suelo favoreciendo la expansión de los cultivos de ornamentales. Puesto que con la antigua figura de protección no se cumplieron los objetivos previstos, el 9 de noviembre de 2002, se

recategorizó como Área de Protección de Recursos Naturales Protectora Forestal Vedada (Ríos, 2012).

El Área de Protección de Recursos Naturales Necaxa se encuentra dentro de los límites de los estados de Hidalgo y Puebla y comprende 3 provincias fisiográficas (Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Llanura Costera del Golfo Norte); las dos primeras en el estado de Puebla. La Sierra Madre Oriental constituye una barrera que intercepta los vientos húmedos provenientes del golfo de México que al chocar con ella y elevarse producen lluvias que, a su vez, varían dependiendo de la altitud. Debido a esta localización, la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa cuenta con dos tipos de clima: en la parte alta es templado húmedo con abundantes lluvias en verano, mientras que en la parte baja es semicálido subhúmedo con precipitación estival e influencia de neblina durante todo el año. Por ello, la cuenca presenta una transición entre Bosque Templado y Bosque Mesófilo de Montaña, además hay presencia de vegetación inducida. Las especies más representativas del Bosque Mesófilo de Montaña son, entre otras: *Cyathea mexicana*, *Alsophylla* sp.; *Liquidambar styraciflua*, *Carpinus caroliniana*, *Clethre quercifolia*, *Meliosma alba* (Ríos, 2012).

En el informe de septiembre 2013 de la GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit); en Pulido, Basurto, y Vite, 2013), de acuerdo al estudio de cambio de uso de suelo en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, se indica que el 50% del área tiene una cubierta Forestal, aproximadamente el 47% es no Forestal y el resto son cuerpos de agua. Actualmente la cuenca sufre presiones y amenazas entre las que se puede mencionar, la explotación desmedida de recursos forestales (maderables y no maderables), degradación y erosión de suelos e impacto por producción de energía. El área presenta amplias zonas perturbadas tanto con vegetación secundaria, como relictos de bosque fragmentado, además de pastizales y zonas agrícolas.

Como se mencionó anteriormente, la comunidad de Xaltepuxtlá pertenece a una región hidrológica prioritaria que forma parte del Sistema de represas y

corredores biológicos de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, por lo cual es preponderante la conservación de los bosques de la región (Bosque Templado y Bosque Mesófilo de Montaña). Además dentro del estudio sobre cambios de usos del suelo se reporta que la vegetación que más superficie perdió, principalmente frente a áreas agrícolas y pastizales, fue justamente el Bosque Mesófilo de Montaña (Pulido et al., 2013).

Ahora bien, citando a Williams-Linera (2012) el valor del bosque de niebla radica en la biodiversidad, la cual se refleja en la presencia de endemismos, esto es especies únicas a ciertos lugares en este tipo de vegetación, y en la provisión de servicios ambientales principalmente la captura de agua.

Para el presente trabajo se eligió dar continuidad a un proyecto que inició en el año 2012. Lo que se ha hecho hasta el momento es combinar un proceso de restauración en 10 ha de BMM degradado y fragmentado en la comunidad de Xaltepuxtla, Puebla con tecnologías agroforestales para la conservación y protección de los Recursos Naturales del socioagrosistema. El área ha sido cubierta por sistemas de producción de plantas de ornato. En suma se encuentran cuatro sistemas productivos principales chima (*Chamaesiparis lawsoniana*), arrayán (*Buxus sempervirens*), azálea (*Rhododendrom indicum*) y cedrela (*Juniperus* sp.). Dentro de estos 4 sistemas, hay 20 subsistemas, es decir se combinan entre ellos o con cultivos comestibles como tomate, chile y frijol. De los cuatro sistemas la chima es el más extendido, ocupando un 74% del área destinada a cultivo, y podría verse rentable a largo plazo, debido a la baja inversión que implica y a la duración de su cultivo, además se puede combinar con otros cultivos. El arrayán en el corto plazo parece el sistema más lucrativo, requiere poco tiempo para crecer, a los tres meses se tienen almácigos para la venta y al año se vende como arbusto. No obstante, el impacto ambiental es alto. El tercer sistema es de azálea, se cultiva poco debido a que la demanda es baja; como es afectada por la sombra no se acompaña de otras especies arbóreas o arbustivas. El cuarto sistema es de

cedrela, sin embargo, este sólo representa el 2% de la producción (Pulido et al., 2013).

Con base en lo anterior se busca establecer un módulo silvopastoril para el manejo sostenible de los recursos del predio (propiedad Ocotitla). Dentro de este proceso de conservación del BMM del APRN Necaxa se tendrá que favorecer la revegetación y se buscaran opciones económicas que combinen el pago por servicios ambientales (Pulido et al., 2013).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es caracterizar la zona de estudio a través del componente biofísico e histórico de los sistemas de producción tradicionales y con tecnologías agroforestales, para analizar la influencia de las actividades antrópicas en el componente ecológico. La importancia de la investigación radica en ampliar el conocimiento sobre el tipo de cultivos, las prácticas de producción y el manejo del suelo en la zona, y contribuir con ello a proponer mejores prácticas de gestión agroforestal.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. Localización de la zona de estudio

La investigación se realizó en el predio Ocotitla (40 ha), en la comunidad de Xaltepuxtla, perteneciente al municipio de Tlaola, en el estado de Puebla (Figura 3.1). Tlaola es uno de los 12 municipios que forman parte del Área de Protección de Recursos Naturales Necaxa, decretada el 20 de octubre de 1938 y recategorizada el 9 de Noviembre de 2002 como Área de Protección de Recursos Naturales Protectora Forestal Vedada (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2015).

Dicha zona se localiza entre las coordenadas extremas 97° 58' 5.303" longitud oeste 20° 11' 23.06" latitud norte y 97° 57' 30.836" longitud oeste 20° 10' 57.124" latitud norte, a una elevación media de 1280 msnm. La comunidad consta de 3761 habitantes con alto grado de marginación: 836 viviendas (52%) no tienen drenaje, 42 (5%) no tienen energía eléctrica y 226 (27%) tienen piso de tierra (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010).

Fisiográficamente el área de estudio se localiza en la provincia de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neo volcánico, así como en las subprovincias del Carso Huasteco y Lagos y Volcanes del Anáhuac, con pendientes que van desde el 2% hasta prácticamente verticales en la parte más escarpada. Se encuentra asentada sobre un sustrato geológico compuesto por roca sedimentaria: caliza (35%), caliza-lutita (22%) y limolita-arenisca (11%) e ígnea extrusiva: toba ácida (24%) y basalto (3%) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2009).

El área de estudio (propiedad de Ocotitla) se encuentra dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, que genera el 3% de la energía hidroeléctrica del país (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2011), por lo que es importante su conservación (Universidad autónoma Chapingo e Instituto Nacional de Ecología, 2001) y esto la convierte en una zona hídrica prioritaria. El clima es tropical lluvioso (García, 1973), con una temperatura media anual entre 18 °C y una precipitación media anual entre 1200 y 2000mm (Williams-Linera, 2012). El tipo de suelo predominante es Andosol mólico (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2015).

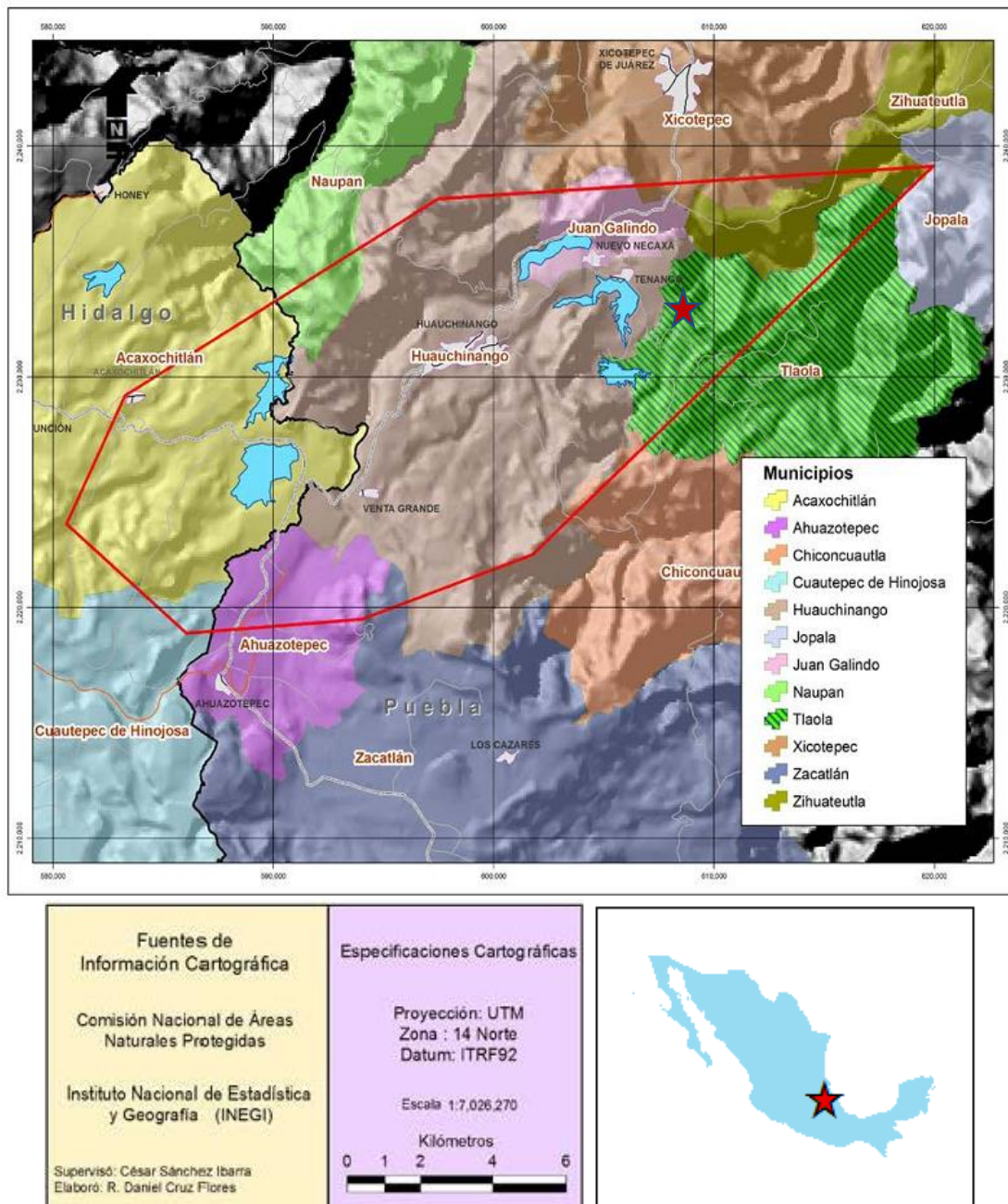


Figura 3.1. Localización del predio Ocotitla (estrella roja) dentro del polígono rojo que corresponde al APRN Necaxa y APRN Protección Forestal Vedada, en la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa. Fuente: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2013).

La vegetación presente en el área es el Bosque Mesófilo de Montaña extremadamente degradado, el cual se caracteriza por la abundancia de helechos, una gran cantidad de epífitas y, sobre todo, por las lluvias frecuentes,

nubosidad, neblina y humedad atmosférica alta durante todo el año (Williams-Linera, 2012).

En el predio Ocotitla se encontró un bosque mesófilo fragmentado, compuesto preponderantemente por sistemas productivos de ornamentales, principalmente azálea, chima, cedrela y arrayán. La zona menos perturbada es el único relicto de vegetación original y 10 ha que se han reforestado y donde se encuentran especies de vegetación secundaria, entre las que aparecen helechos arborescentes, algunos hongos y epífitas. No obstante el nivel de perturbación es alto y la sucesión secundaria se ve afectada por las actividades antrópicas.

3.3.2. Caracterización de los sistemas de ornamentales

Caracterización histórica

En este análisis se tomaron en cuenta las recomendaciones de Apollin y Eberhart (1999), las cuales se basan en conocer la sabiduría campesina, las innovaciones introducidas en los últimos periodos; además de identificar los tipos de sistemas de producción practicados y comprender a qué incentivos socioeconómicos han respondido. De esta forma se logrará tener una visión integral.

Los elementos para realizar este análisis histórico fueron: la entrevista, las visitas a campo y los documentos que hablan de la zona de estudio. Con ayuda de estos elementos se logró una caracterización detallada de los sistemas ornamentales y sus interacciones.

La metodología que se utilizó para hacer esta línea histórica fue descriptiva y transversal. Por un lado, se revisaron informes y estudios históricos del área, que se complementaron a través de visitas y entrevistas a los propietarios y medieros (arrendatarios). Para ello, se realizaron recorridos por el área de estudio en compañía de ellos, para que fueran narrando cómo ha cambiado el lugar en el tiempo y, de esta forma, hacer una línea precisa y lógica. Además, con la información obtenida por medio de las entrevistas se estimó la importancia de los cultivos de ornamentales y el actual manejo del suelo.

Se realizaron 18 encuestas (los formatos se encuentran en Anexos 3.7.1 y 3.7.2) a medieros y dos a propietarios. Dichas encuestas se llevaron a cabo en una reunión quincenal, que se realiza habitualmente con el fin de que los medieros rindan cuentas a los propietarios. Dado que la mayoría de los medieros no saben leer, la dinámica que se siguió fue preguntar y que ellos emitieran sus comentarios; para evitar perder información se utilizó una grabadora. Estas encuestas estuvieron encaminadas sobre todo a los usos y manejo del suelo, prácticas productivas y situación social de los medieros. Las encuestas a los propietarios fueron personales, sólo fueron dos, la información brindada por ellos fue más encaminada al cambio de usos del suelo y deforestación. Esta actividad fue el primer acercamiento a la comunidad, no obstante durante el año de trabajo en campo se pudo corroborar parte de la información y hablar más de cerca con dos medieros. Este acercamiento ayudó a tener información más fidedigna y conocer de cerca los cambios, porque si bien en un primer momento no se pudo hablar de temas delicados, como la deforestación que se ha perpetrado en el área, el paso del tiempo y el trabajo en equipo permitió tener más confianza y hablar de los diferentes cambios y sus consecuencias.

La información obtenida se esquematizó y ayudó a conocer la importancia económica de los cultivos ornamentales, el manejo y uso de suelo, así como la evolución de la intervención antrópica en la zona.

Caracterización biofísica

La caracterización de las unidades de paisaje se realizó con base en la metodología propuesta por Gómez et al. (2008). Con ayuda del sistema de información geográfica Arc map 10.1 se generaron el polígono del área y los mapas de geoformas, pendientes y clima; los cuales se sobrepusieron para dar lugar al de sistemas bioproductivos.

Polígono del área de estudio

El polígono del área de estudio se realizó mediante la digitalización del área de estudio con la herramienta COGO de Arc map 10.1, a partir de azimuth y

distancia de los linderos del predio, además de rectificar en campo tomando transectos con Geoposicionador global (GPS) modelo Garmin.

Mapa de topoformas

El mapa de topoformas se realizó a partir del Modelo de Elevación Digital del municipio de Tlaola, que se descargó de la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en formato bil. Con dicho formato se obtuvieron las curvas de nivel cada 5 m, las pendientes y finalmente con el Triangulated Irregular Network (TIN) se calcularon las altitudes del área de estudio.

Mapa climático

Las estaciones meteorológicas de la región no contaban con información suficiente para caracterizar el clima. Por ello, se extendió la cobertura geográfica, para encontrar estaciones que tuvieran información confiable. En el análisis se utilizaron datos de 18 estaciones meteorológicas (Cuadro 3.1). Los datos se obtuvieron del Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2015), por medio del Extractor Rápido de Información Climática (ERIC) versión 3 (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2006). Fue necesario elaborar el mapa climático de la región con base en la metodología propuesta por Gómez et al. (2008), la cual toma elementos de interpolación lineal simple, complementándola con algunas características de métodos más complejos.

Cuadro 3.1. Estaciones meteorológicas utilizadas para caracterizar el clima del área de estudio. *Estaciones meteorológicas del estado de Puebla; **Estaciones meteorológicas del estado de Veracruz.

Clave	Nombre	Longitud (O)	Latitud	Elevación (msnm)	Periodo de observación
13034	Tenango de Doria (SMN)*	98.2	20.4	1550	1941-2007
21107	Zacatlán, Zacatlán*	98.0	20.0	2059	1955-1995
21118	Huauchinango (SMN)*	98.1	20.2	1472	1922-2006
21006	Ahuacatlán, Ahuacatlán*	98.0	20.1	1360	1944-1972
21127	Xicotepec de Juárez, SMN*	98.0	20.3	1155	1954-2006
21032	Cuetzalan del progreso*	97.5	20.0	980	1931-2006
21051	Jopala, jopala (CFE)*	97.7	20.2	725	1961-2008
21108	Zapotitlán de Méndez, SMN*	97.7	20.0	590	1961-1991
21014	Ayotoxco, Ayotoxco (CFE)*	97.4	20.1	320	1979-1996
30072	Ixhuatlán del Café*	98.0	20.7	306	1980-2006
30034	Coyutla, Coyutla*	97.7	20.5	245	1961-2008
30058	Espinal, Espinal*	97.4	20.3	111	1961-2008
30125	Papantla de Olarte**	97.3	20.5	298	1961-2005
30134	Progreso de Zaragoza**	97.7	20.3	260	1961-2006
30173	Tecuatepepec, Zozocolco**	97.5	20.2	250	1961-2008
30106	Melchor Ocampo, Espinal**	97.5	20.3	200	1961-1997
30132	Poza Rica de Hidalgo**	97.5	20.6	150	1955-2006
30079	Joloapan, Papantla**	97.3	20.2	125	1961-2008

Fuente: Elaboración propia

Mapa de temperatura

Para el mapa de temperatura se utilizaron los datos de máximas y mínimas mensuales de las 18 estaciones meteorológicas extraídas del ERIC, obteniendo la temperatura promedio anual y mensual de cada estación. Ello con la finalidad de elaborar ecuaciones de regresión lineal simple para calcular los rangos de variación de la temperatura para cada mes y el promedio anual con el rango de alturas dentro del polígono del área.

Las ecuaciones de regresión lineal simple de cada mes y la anual fueron la base para generar los mapas de isotermas. Los mapas se realizaron utilizando el Sistema de Información Geográfico ArcMap 10.1, el mapa topográfico digital y el Modelo de Elevación Digital. Con los modelos de regresión lineal simple, se calculó la temperatura de cada mes para el rango de alturas sobre el nivel del mar, identificando la cota menor y mayor de temperatura para generar rangos de temperatura. Posteriormente, se crearon polígonos con base en el rango de temperatura y altura sobre el nivel del mar calculado con el modelo de regresión lineal simple. Finalmente, se generaron los mapas de isotermas mensuales y anual.

Mapa de precipitación

Para el mapa de precipitación fue necesario conocer la cantidad de lluvia mensual y anual de las 18 estaciones meteorológicas y georeferenciarlas de acuerdo a sus coordenadas en el Sistema de Información Geográfico ArcMap 10.1. Con ayuda del Modelo Elevación Digital y los datos de precipitación mensual y anual de las estaciones, se analizó la cantidad de precipitación que podría existir en el predio Ocotitla, tal y como se indica a continuación.

Se identificaron las tres estaciones más cercanas al área de estudio, las cuales fueron Xicotepec de Juárez, Huauchinango y Ahuacatlán. En la estación meteorológica de Xicotepec de Juárez se observó una precipitación de 2965 mm, en Huauchinango de 2042 mm y en Ahuacatlán de 1703 mm. La ubicación espacial de las estaciones tuvo un papel preponderante a la hora de elegir las. Aun cuando en un principio se encontraron más estaciones cercanas a la zona

de estudio se tuvieron que eliminar, debido a que estaban en la zona de sotavento, y las que finalmente se seleccionaron fueron las de barlovento dado que, por la dinámica que lleva el aire, incluir las primeras hubiera resultado en una valoración con un error bastante considerable.

Posteriormente, se delimitaron las isoyetas anuales con el método gráfico con criterio de experto descrito por Gómez et al., (2008) en el ArcMap 10.1. Con ayuda del Modelo de Elevación Digital y el mapa topográfico se generaron los rangos de precipitación identificando la isoyeta mayor y la menor para crear polígonos.

Finalmente, los datos de precipitación anual y mensual de cada polígono se generaron mediante una tabla donde se calcularon datos del valor promedio de precipitación para cada mes, intervalos de precipitación mensual y la precipitación mensual estimada para cada rango. Los intervalos de precipitación media mensual para cada rango de precipitación media anual se asignaron de acuerdo a la tendencia y valores de la precipitación promedio de cada grupo de estaciones meteorológicas, estableciendo rangos en los que queden incluidos los valores promedios de los diferentes grupos de estaciones (Gómez et al., 2008).

El mapa de precipitación no se muestra, porque se encontró una uniformidad pluviométrica en el área de estudio, dando como resultado el mismo polígono que enmarca la zona de estudio. No obstante dicho mapa fue base para crear el de áreas de influencia climática que se describe a continuación.

Delimitación de áreas de influencia climática

A partir de los mapas de precipitación y temperatura media anual, con la ayuda de Arc map 10.1 se unieron para crear áreas de influencia climática. En el área de estudio sólo se identificaron dos áreas de influencia climática, sin embargo la diferencia entre ellas era de sólo medio grado. A cada área se le estimaron los valores mensuales y el anual de temperatura y precipitación para determinar el tipo de clima utilizando el Sistema de Clasificación de Köppen modificado por

García (1973). Después del análisis se determinó que ambas áreas tienen el mismo clima.

Las modificaciones que hace García (1973) al sistema de Köppen son para ajustarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana y encontrar una correlación aceptable entre los subtipos de clima postulados y la distribución de las condiciones climáticas. Esta modificación es necesaria debido a que el sistema climático de Köppen fue concebido para definir las zonas climáticas que se extienden en la latitud, y los valores deben ajustarse a las condiciones de cada país en donde también la altitud crea condiciones especiales en la distribución del clima.

El sistema de clasificación de Köppen se basó en formaciones vegetales que constituyen zonas altitudinales, las cuales establecen los límites entre un clima y otro. Los parámetros para determinar el clima de una zona fueron la temperatura y precipitación media anual y mensual y la estacionalidad de la precipitación. Esta clasificación dividió los climas del mundo en 5 grupos (A, B, C, D y E). Cada grupo se dividió en subgrupos y cada subgrupo en tipos de clima.

En palabras de García (1973), para evitar confusiones se cambiaron las designaciones climáticas por unas más adecuadas. Cabe destacar que las correspondientes a los grupos climáticos A, B, C, D y E quedan iguales, no obstante las de los subgrupos cambiaron (ver Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen realizadas por García (1973).

Clima	Clasificación de Köppen	Modificación de García a la clasificación de Köppen
Af	Clima de selva	Clima caliente y húmedo con lluvias todo el año
Aw	Clima de sabana	Clima caliente y subhúmedo con lluvias en verano
Bs	Clima de estepa	Clima seco
Bw	Clima de desierto	Climas muy áridos
Cw	Clima sínico	Climas templados subhúmedos con lluvias en verano
Cf	a. Clima virginiano b. Clima de haya	Climas templados húmedos con lluvias todo el año
Et	Clima de tundra	Clima frío

Mapa de uso de suelo y vegetación

Para realizar el mapa de usos de suelo y vegetación se utilizó el polígono del área e imágenes de Google maps a partir del software SAS planet. Debido a que en la zona de estudio la vegetación nativa está completamente degradada, dicho mapa se hizo para clasificar los sistemas productivos de ornamentales y el relicto de Bosque Mesófilo de Montaña. Para darle mayor precisión al trabajo se detallaron los linderos de cada sistema productivo, además de agregar otras categorías como zonas no cultivadas y algunas reforestadas.

Con base en esta cartografía y los recorridos de campo que se realizaron, se definieron 12 sitios de muestreo, 11 correspondientes a los diferentes sistemas de producción de ornamentales y el duodécimo al relicto de Bosque Mesófilo de Montaña.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1. Caracterización histórica

La configuración de la población de la sierra Norte de Puebla ha sido cuna de dos culturas que han confluído, los teotihuacanos y los totonacos. Aunque aparentemente contrastantes, cada una dejó su herencia en la región y el vínculo histórico es haber compartido el mismo espacio geográfico.

Báez (1979) menciona que la zona se convirtió en un mosaico multicultural en el cual han convivido por siglos nahuas, totonacos, otomíes y tepehuas. No obstante, entre el rasgo distintivo que identifica a los habitantes de esta región es el ser serranos y hablar náhuatl, lengua materna en algunas comunidades.

La caracterización histórica nos remonta al año 700 d.c cuando la actual Sierra Norte Poblana pertenecía al Totonacapan. Debido a su localización, en la época precolombina fue un territorio multicultural, situación que cambió con su debilitamiento político y la posterior llegada de los españoles, quienes sólo usaron el área como paso. A partir del siglo XV se dio una incipiente evangelización, no obstante las condiciones geográficas lo hicieron un territorio poco atractivo para los frailes y ello resultó en tres siglos más de aislamiento, el cual se rompió con la entrada de los cultivos de café y la llegada de mestizos a la zona. Si bien el café perdió su competitividad a mediados del siglo XX llevando a los productores a abandonar muchos de sus cultivos, lo cierto es que éstos ya no abandonaron sus fincas. Ello conllevó otro problema, la creciente marginación y discriminación de la población indígena, problema que se ha arrastrado hasta el día de hoy, puesto que la Sierra Norte de Puebla es una región preponderantemente indígena, con alto grado de marginalidad, carencias y pocos recursos e infraestructura para el desarrollo. Además de discriminada por los grupos mestizos de las regiones urbanas aledañas, los miembros de dicho etnia han de lidiar día a día contra la influencia de agentes externos que les quieren imponer su idea de modernidad, bajo una perspectiva que no toma en cuenta sus creencias, realidades y tradiciones, teniendo como consecuencia, antes que el desarrollo, más bien la marginación y la pauperización de la mayoría de estos grupos indígenas. Quienes al no contar con los elementos para sumarse a la modernidad, se han visto sumidos entre las contradicciones de la llamada panacea del progreso y la falta de visión de los gobernantes.

Además buscando no perder sus orígenes han establecido organizaciones de carácter étnico, con la finalidad de reivindicar su indianidad y recuperar su memoria histórica a través de la recopilación de mitos y narraciones en lengua

náhuatl para su difusión (Báez, 1979); dado que en la actual sociedad global es a través de la escritura que se permite a estos pueblos reiterar y afirmar su identidad.

Cabe destacar que al tener que hacer frente a los retos que impone la modernidad y poder satisfacer sus necesidades básicas, la falta de recursos económicos los ha hecho depender completamente de los recursos forestales a su alcance. Dentro de los recorridos a campo se pudo corroborar que su necesidad de recursos naturales ha aumentado, por un lado para sus actividades diarias y por el otro por la principal actividad económica, la cual supone extensiones de tierra libres para el cultivo de ornamentales, aunque ello signifique seguir extendiendo la frontera agrícola desmontando áreas forestales y no respetando las figuras de protección implementadas desde los años treinta. La preocupación de ellos no se basa en la sostenibilidad de sus terrenos, la apuesta va dirigida a que los cultivos mejoren su precio, para que su trabajo tenga ganancias. Desafortunadamente, aunque el mercado de Tenango de las Flores tiene influencia nacional, lo cierto es que los cultivos de la zona no implican mayor plusvalía, dado que no son ornamentales considerados finos, ello demerita su precio y reduce los ingresos de los habitantes. Sin embargo esta actividad económica ha impuesto una mayor presión sobre los recursos forestales.

Dichos habitantes viven prácticamente de productos del monte, aprovechando los árboles secos para leña, pero muchas veces derribándolos para contar con este recurso, y explotan los manantiales, los cuales a últimas décadas debido al desmonte forestal han disminuido considerablemente su recarga. No obstante, las actividades antrópicas han tenido consecuencias y los habitantes también sufren los embates de la naturaleza y sus consecuencias como deslaves, incomunicaciones y muertes, lo cual parece ser un estigma de su realidad y con lo que vivirán para siempre.

La ansiada sostenibilidad de la zona sigue siendo sólo una quimera, dado que al impulsar medidas de protección ambientales y programas agrícolas no se

toma en cuenta la realidad de los habitantes. No se puede terminar con los ornamentales en el corto plazo puesto que es la principal actividad económica y de ello se sostiene la población indígena y, aunque no es del todo redituable, salvaguarda sus necesidades más básicas. No obstante por lo mismo, existe una creciente migración no sólo a las ciudades cercanas sino también hacia Estados Unidos.

3.4.2. Caracterización biofísica

Polígono

El polígono del área de estudio delimita una superficie de 40 ha, correspondiente al predio Ocotitla, en la que se encuentran los sistemas de producción de ornamentales y un relicto de Bosque Mesófilo de Montaña (Figura 3.2).



Figura 3.2. Polígono de delimitación del predio Ocotitla en Xaltepuxtlá, Puebla. Mapa de pendientes

El predio Ocotitla incluye cinco rangos de pendiente. El rango que cubre el 41.25% de la superficie es el de 15-40% de pendiente; la superficie con pendiente mayor del 40%, representa un 12.25%; Las áreas con el rango de 8-15% de pendiente comprende un 22.5% de la superficie; el área con el rango 2-8% en una superficie de 21.25% y, por último, el rango 0-2% en una superficie de 2.5% (Figura 3.3).

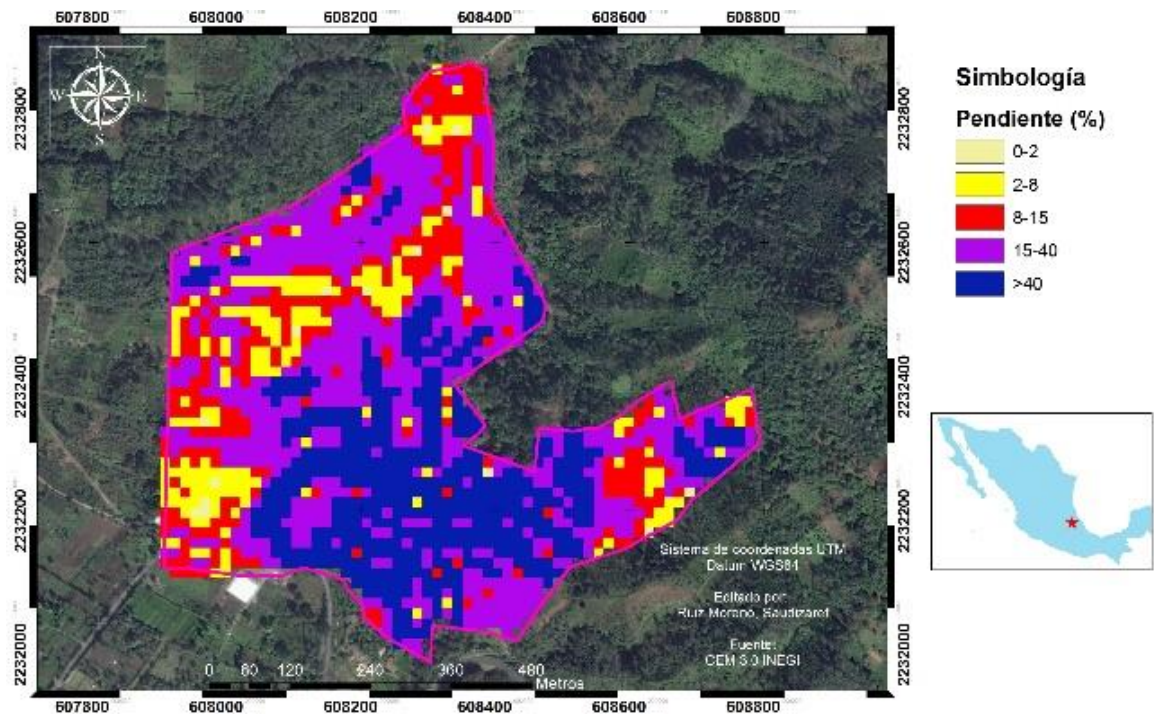


Figura 3.3. Mapa de pendientes del predio Ocotitla en Xaltepuxtla, Puebla.

Mapa de topoformas

En la zona de estudio se delimitaron ocho topoformas, las cuales se ilustran en la Figura 3.4. Se puede apreciar que la meseta es la topoforma más representativa abarcando un 35% de la superficie, el valle con zona inundable con un 20%, las laderas con pendiente con un 17.5%, laderas escarpadas un 12.5%, en igual proporción encontramos la cañada y el cauce de arroyo con un 5% y, finalmente, la zona inundable y el aparato volcánico con un 2.5%.

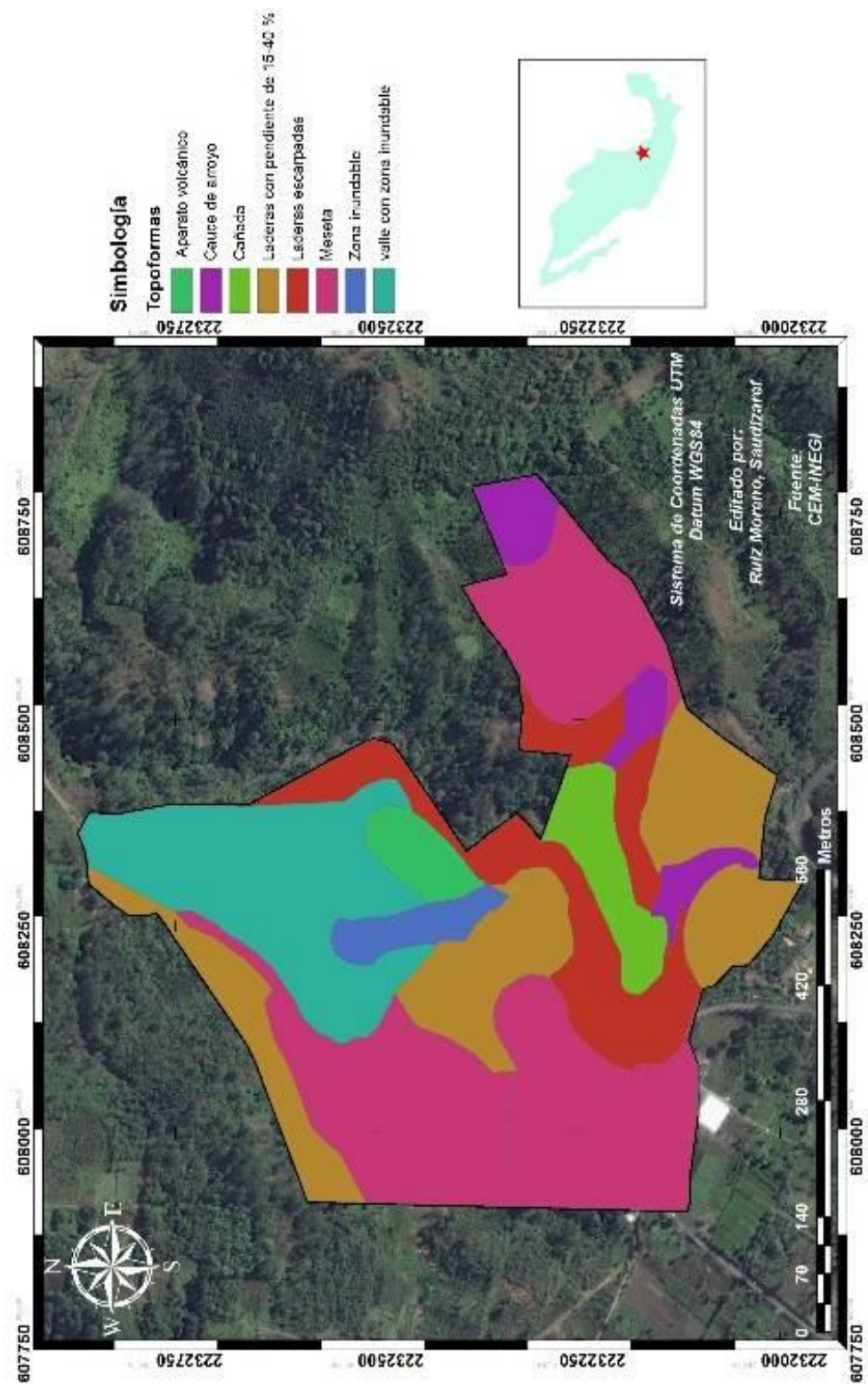


Figura 3.4. Mapa fisiográfico del predio Ocotitla con ocho topoformas.

Mapa climático

En el Cuadro 3.3 se recogen los modelos de regresión lineal generados para construir el mapa de temperatura. Con los modelos se realizó el mapa de temperatura anual que se presenta en las figura 3.5.

El tipo de clima se obtuvo mediante la fórmula climática de Köppen modificado por García (1973) y corresponde a un (A)Cb(fm)(i')gw", el cual se define como semi cálido del grupo de los templados con verano fresco largo, húmedos con régimen de lluvias intermedio y un porcentaje de precipitación invernal menor de 18; con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales; marcha anual de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula. La temperatura media anual de 18.45°C y la precipitación media anual de 1524.66mm.

Cuadro 3.3. Ecuaciones de regresión lineal simple, generadas para realizar el mapa de temperatura del predio Ocotita, Xaltepuxtla, Puebla. Los altos valores que muestran los coeficientes de determinación (R^2) de todos los modelos son altamente significativos ($p < 0.001$).

Mes	Modelo	R^2
Anual	$T = 25.791 - 0.0057 h$	0.99
Enero	$T = 20.032 - 0.0042 h$	0.96
Febrero	$T = 21.178 - 0.0043 h$	0.95
Marzo	$T = 24.097 - 0.0048 h$	0.97
Abril	$T = 27.061 - 0.0055 h$	0.98
Mayo	$T = 29.516 - 0.0064 h$	0.99
Junio	$T = 29.847 - 0.0068 h$	0.99
Julio	$T = 29.095 - 0.0069 h$	0.99
Agosto	$T = 29.188 - 0.0069 h$	0.99
Septiembre	$T = 28.415 - 0.0066 h$	0.99
Octubre	$T = 26.438 - 0.0062 h$	0.99
Noviembre	$T = 23.621 - 0.0054 h$	0.99
Diciembre	$T = 21.009 - 0.0045 h$	0.97

^z. T= temperatura; h= altura

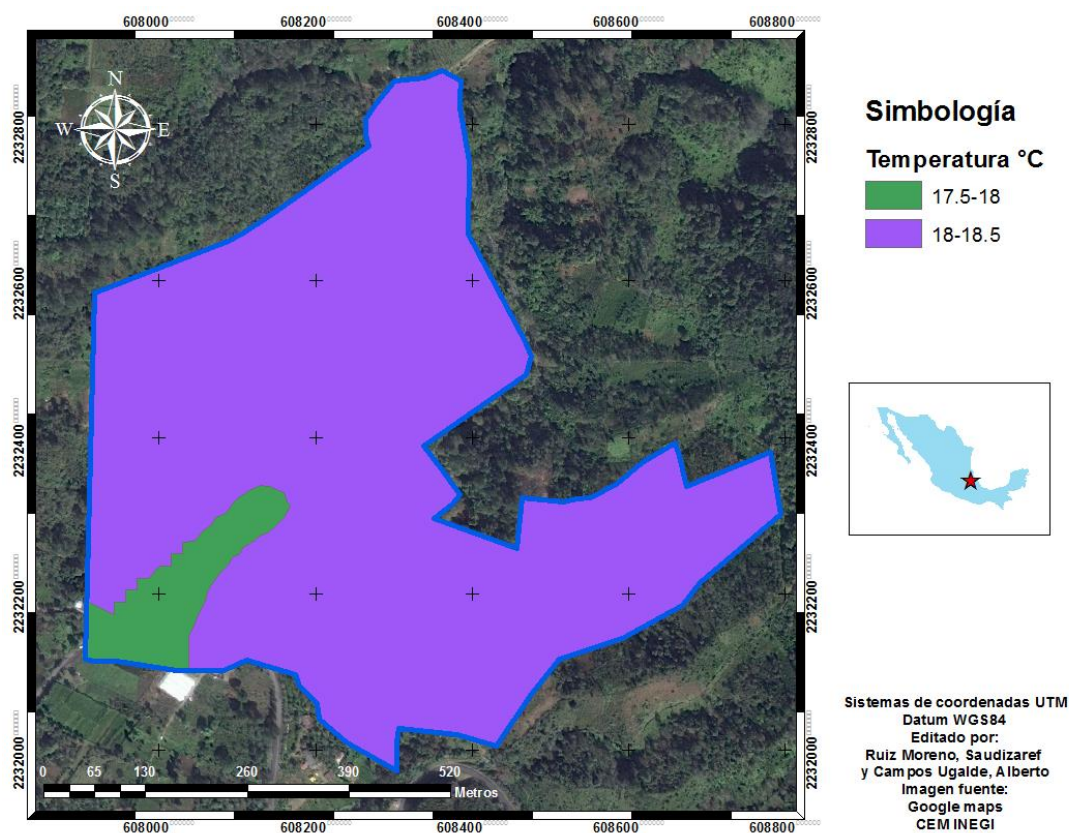


Figura 3.5. Mapa de temperatura media anual del predio Ocotitla en Xaltepuxtlá, Puebla.

Mapa de uso de suelo y vegetación

Al interceptar el polígono con los mapas de pendientes, topoformas y clima se generó un mapa de unidades bioproductivas. No obstante, como el resultado eran 60 polígonos y había sistemas que a pesar de ser pequeños se dividían en 3 posibles unidades muestreables, se optó por unificar los sistemas de trabajo por cultivo, de manera que el resultado fueron 11 sistemas productivos de ornamentales y el relicto de bosque mesófilo de montaña (Figura 3.6). En dichos sistemas productivos se identificaron cultivos de azálea, arrayán, cederla, chima y camelia, además de un relicto bastante degradado de Bosque Mesófilo de Montaña en el que aún se puede encontrar bastante chima. Sus características se resumen en el Cuadro 3.4.

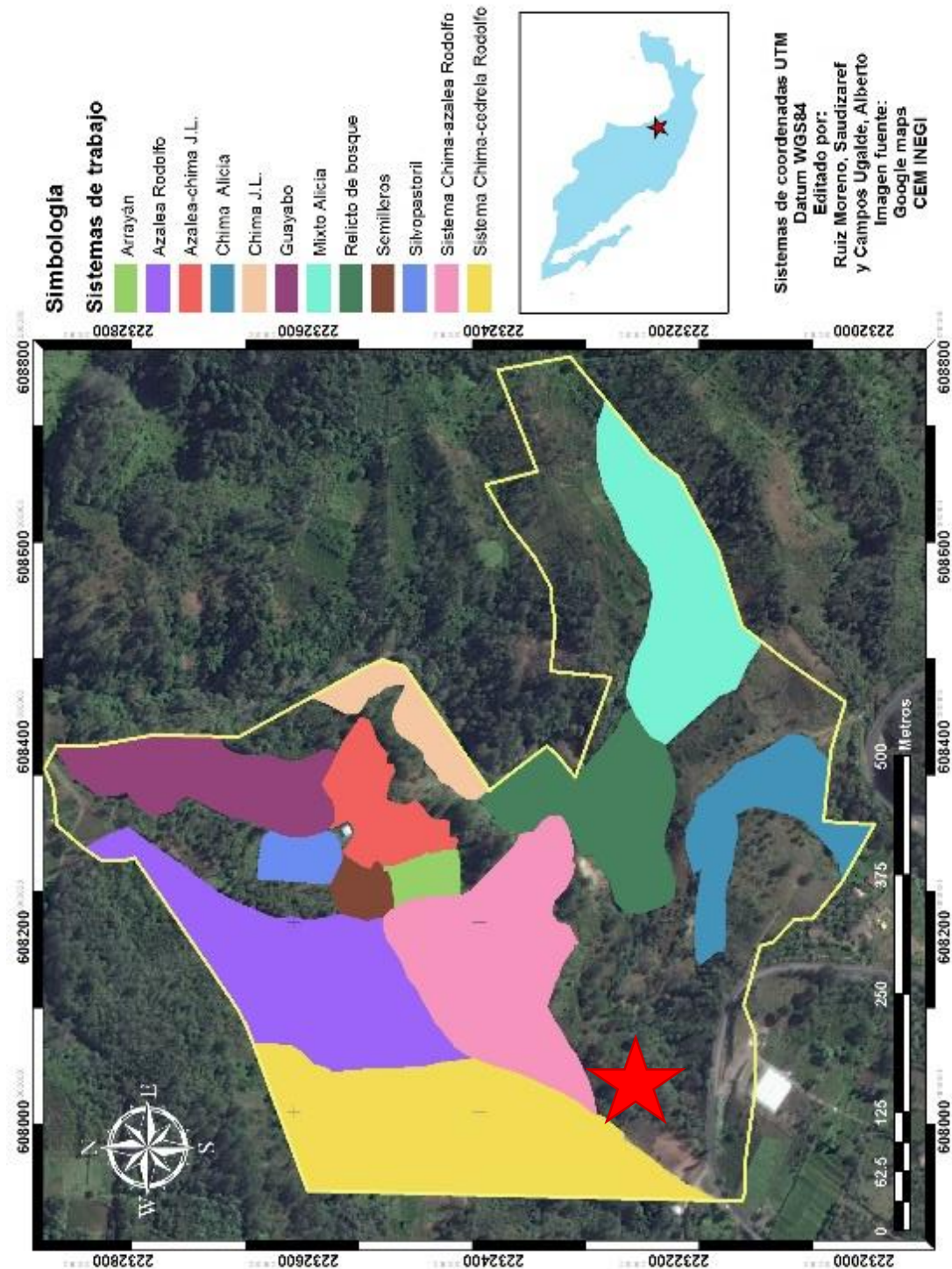


Figura 3.6. Mapa de los sistemas productivos de ornamentales y relicto de BMM. Las áreas que no tienen color pertenecen a zonas en descanso, las cuales fueron reforestadas en 2012, la estrella roja marca donde se encuentra la casa de los medieros y parte de esa área es ocupada por un pequeño vivero, en el cual venden los ornamentales.

El manejo que se le da a los sistemas (Cuadro 3.4) es importante, debido a que es uno de los factores que está afectando a la degradación y pérdida de calidad del suelo. Entre las malas prácticas de manejo podemos señalar: 1) el uso de azadón para la limpieza de arvenses, lo que tiene un impacto negativo porque deja descubierto el suelo, aunado a que son terrenos con pendientes bastante inclinadas lo que hace proclive el terreno a la erosión; 2) retirar los restos de la poda de los cultivos, con ello se pierde material que se transformaría posteriormente en materia orgánica y el cual significa protección para el suelo; y 3) extracción de cepellón, además de venta de suelo como sustrato, que implica una pérdida cuantiosa, sobre todo en los sistemas que tienen azálea, dado que el cepellón que se extrae es más grande y la cantidad de plantas con cepellón que se vende también, lo cual convierte a estos sistemas en foco rojo y donde las malas prácticas se acentúan.

Cuadro 3.4. Características de los sistemas de cultivo de ornamentales y del relicto de Bosque Mesófilo de Montaña (BMM).

Sistemas	Observaciones
Guayabo	Sistema mixto de azálea y chima en el que recientemente se ha plantado Guayabo (<i>Psidium guajava</i>)
Silvopastoril	Cultivo de chima para follaje y de forrajeras para ganadeo ovino; no hay extracción de suelo
Azálea-chima J.L.	Cultivo de azálea y chima con una pendiente de 8-15%
Semilleros	Área donde se dejan los ornamentales extraídos de otras zonas hasta decidir qué hacer con ellos
Arrayán	Extracción a raíz desnuda
Chima J.L.	Pendientes de 15% a ∞, suelos erosionados y pedregosos. No se extrae chima en la actualidad.
Azálea chima-R.	Sistemas que presentan extracción de planta con cepellón, y se vende tierra como sustrato, por tanto mayor pérdida de suelo. También se utiliza el azadón para limpiar herbáceas y no se dejan los residuos de las plantas cortadas
Azálea-R.	
CH-CE-R.	
Mixto-A.	Incluye cedrela, chima, azálea y camelia. Suelos erosionados, se usa azadón para mover la tierra.
Chima-A.	Pendientes > 40%, suelos erosionados, se usa azadón para mover la tierra. No se extrae chima en la actualidad
BMM	Relicto de BMM invadido por cultivos de chima que se han dejado, se busca conservarlo lo mejor posible

^z J.L.= propiedad de José Luis; R.= propiedad de Rodolfo; A= propiedad de Alicia; Mixto= sistema con cedrela, chima, azálea y arrayán; CH-CE= chima y cedrela

3.5. Conclusiones

Como resultado del diagnóstico biofísico e histórico de los sistemas agroforestales del predio Ocotitla, en Xaltepuxtla, Puebla, se pudieron definir 11 sistemas de ornamentales con 4 cultivos dominantes azálea, chima, cedrela y arrayán; de estos 11 sistemas algunos presentan una combinación de cultivos. Además, se encontró un relicto bastante fragmentado de Bosque Mesófilo de Montaña.

Los recorridos de campo y las entrevistas que se realizaron a propietarios y medieros dejaron claro que los propietarios desconocen lo que pasa en sus predios; aunque los propietarios han querido impulsar medidas correctivas, su

desvinculación no les ha permitido un resultado favorable. Además, en la mayoría de los casos se trata de imponer cambios que no son adecuados para la realidad y dejan de lado a los medieros, ello ha conllevado a una actitud de enojo por parte de estos últimos y a cierta rebeldía, la cual impacta en daños al medio ambiente. Cabe destacar que los medieros son gente de procedencia indígena con un nivel educativo bajo y un alto analfabetismo, en situación de pobreza extrema lo que conlleva el uso de recursos forestales para satisfacer sus necesidades básicas, una nula educación ambiental que implica no tener un lugar adecuado para los desechos y tener viviendas donde viven hacinados. Estas circunstancias son preocupantes, ya que trabajan para satisfacer sus necesidades más básicas, ello no les permite hacer conciencia sobre el daño que producen sus prácticas a los recursos naturales, su objetivo es que la actividad que ellos realizan les permita llevar un poco de comida a sus casas.

Se constató que la pobreza es un factor que se tiene que erradicar, para que la gente, al tener sus necesidades cubiertas, no vea los ecosistemas sólo como una fuente de recursos y valore otros servicios que brindan. Por supuesto, se debe resaltar el daño que ha sufrido esta parte de la Sierra Norte de Puebla, sobre todo por la expansión de ornamentales y la respuesta al mercado de planta de Tenango de las Flores, puesto que al tratar de mantener un nivel productivo aceptable se ha dejado de lado la sostenibilidad para que sea redituable su actividad.

El análisis histórico ayudó a comprender de qué forma la actividad económica de la región ha impulsado el cambio de usos del suelo, y llevado a los trabajadores a implementar malas prácticas de manejo. Las malas prácticas que se encontraron en el área son: la extracción de planta con cepellón, vender tierra como sustrato, hacer uso de azadón para limpiar las arvenses, lo cual implica una exposición del suelo a la erosión al dejarlo descubierto en pendientes tan pronunciadas. Las anteriores prácticas no sólo son preocupantes desde el punto de vista ambiental, sino que están dejando a los medieros sin alternativas de sustento para el futuro. No obstante, si se buscaran

actividades que diversificarán sus productos y volvieron a realizar sus antiguas prácticas de manejo, se podrían tener beneficios para la revegetación y se evitaría la pérdida de suelo por extracción de cultivos ornamentales con cepellón.

3.6. Literatura citada

- Apollin, F., & Eberhart, C. (1999). *Análisis y diagnóstico de los sistemas de producción en el medio rural* Guía metodológica. Ecuador: Camaren.
- Báez, L. (1979). *Nahuas de la sierra norte de Puebla: Pueblos indígenas del México contemporáneo*. México: CDI-PNUD.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2013). Estudio Previo Justificativo para la modificación de la Declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales “Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa” ubicada en los estados de Hidalgo y Puebla. México: CONANP.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. (2011). México: CONABIO, Gobierno del Estado de Puebla & BUAP.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2015). México. Recuperado de: <http://regiongolfodemexico.conanp.gob.mx/rionecaxa.php#.VOa9keaG-vw>.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: UNAM-IG.
- Gómez, J. D., Etchevers, J. D., Monterroso, A. I., Gay, C., Campo, J., & Martínez, M. (2008). Spatial estimation of mean temperature and precipitation in areas of scarce meteorological information. *Atmósfera*, 21, 35-56.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2006). Extractor Rápido de Información Climática (ERIC) versión 3. Servicio Meteorológico Nacional.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México. (2015). Recuperado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México. (2009). Recuperado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21183.pdf>
- Pulido S. M., Basurto P. F., & Vite R.A. (2013). *Diagnóstico de sistemas productivos para mejorar y proteger los recursos naturales vitales a escala predio y su extrapolación a municipio*. México: CONANP-GIZ.
- Ríos S., G.A. (2012). *Cambio climático y gestión de áreas naturales protegidas*. México: GIZ.

- Sistema Meteorológico Nacional. (2015). Consultado en línea para obtención de datos de temperatura y precipitación. Recuperado de: <http://smn.cna.gob.mx/es/>
- Universidad Autónoma de Chapingo & Instituto Nacional de Ecología (2001). *Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial de las cuencas hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan*. Texcoco, México: Universidad Autónoma de Chapingo & Instituto Nacional de Ecología.
- Williams-Linera, G. (2012). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. México: CONABIO.

3.7. Anexos

3.7.1. Modelo de entrevista con medieros



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
DEIS EN SUELOS
Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible
“Proyecto de investigación, captura de carbono en suelo
en sistemas ornamentales típicos de Xaltepuxtla, Puebla.

La presente entrevista tiene el objetivo de recabar información con los medieros acerca de la importancia económica de los cultivos ornamentales, el manejo y uso de suelo así como la evolución de la intervención antrópica en la zona, con base en dicha información y con ayuda de informes del área de estudio se realizará una caracterización histórica.

Entrevista medieros

1. ¿Siempre lució así el terreno de los Castelan?
2. ¿Que lo hizo cambiar?
3. ¿Se ha secado algún manantial de este terreno o de otros?
4. ¿Siempre ha habido aquí Liquidámbar (ocotzote; *Liquidambar styraciflua*), encino (*Quercus* spp.), álamo (*Platanus* spp.), helechos arborecentes (maquiquis; *Cyathea* spp.)? ¿Ahora hay mayor cantidad o menor?
5. Acuérdesse hace 10 años para acá, ¿había más pájaros antes o ahora?
6. Serpientes ¿hay más?
7. Respecto a las tuzas, la cantidad ¿ha aumentado o disminuido?
8. ¿Hacen más daño ahora o antes?
9. Las ardillas ¿siempre ha habido? ¿Son dañinas, se comen sus cultivos?
10. ¿En época de secas ustedes utilizan algún sistema de riego?
11. Hay años que no deja de llover, usted se acuerda de los últimos 20 años ¿cuáles han sido lluviosos y cuáles no?
12. Antes de sólo sembrar planta ¿que se sembraba o cultivaba?
13. ¿Las plantaciones de ornamentales hace cuantos años empezaron? Desde cuando es un plantero?
14. ¿Que siembra usted a parte de sus plantas aquí en el terreno de los Castelan?
15. ¿Cuándo usted va a sembrar por primera vez, que hace ¿quema, chapea? que herramientas usa?
16. ¿Quién decide que cultivos plantar?
17. Cuantos medieros trabajan para los Castelan?
18. ¿De qué les entregan cuentas a los propietarios?
19. ¿Trabaja todo el año con los Castelan?
20. ¿Tiene prospera, seguro popular, setenta y más, cuál tienes?

3.7.2. Modelo de entrevista con propietarios



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
DEIS EN SUELOS
Maestría en Agroforestería para el desarrollo sostenible
“Proyecto de investigación, captura de carbono en suelo
en sistemas ornamentales típicos de Xaltepuxtla, Puebla.

La presente entrevista tiene el objetivo de recabar información con los dueños acerca de la importancia económica de los cultivos ornamentales, el manejo y uso de suelo así como la evolución de la intervención antrópica en la zona, con base en dicha información y con ayuda de informes del área de estudio se realizará una caracterización histórica.

Entrevista para los dueños

- ¿Siempre lució así el paisaje?
- ¿Hace cuantos años se empezó a deforestar el bosque?
- ¿Cuántas hectáreas de bosque se deforestaron aproximadamente?
- ¿Qué especies han sobrevivido a la deforestación, es decir antes de que empezaran a derribar el bosque había cierto tipo de árboles, de esos quedan algunas especies?
- ¿Nota usted que tengan una característica especial esas especies que han sobrevivido?
- ¿Quién tiene derecho a vender o heredar estas parcelas?
- ¿Aproximadamente cuánta gente trabaja aquí?
- ¿Quién decide que cultivos plantar?
- ¿Siembran hortalizas o algún cereal?

4. ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO DEL PREDIO OCOTITLA EN XALTEPUXTLA, PUEBLA⁴

4.1. Resumen/Abstract

En esta investigación se determinó el efecto del manejo en la degradación y pérdida de suelo, en la propiedad de Ocotitla en Xaltepuxtla, Puebla. Dos factores que propician la pérdida de suelo en esta zona son la extracción de planta con cepellón y la venta de tierra como sustrato. El trabajo interrelaciona la densidad de planta, la venta anual y el tamaño de cepellón por planta, para obtener las toneladas de suelo perdidas por año. Para ello, se consideraron los siete sistemas productivos de ornamentales en los que actualmente se extrae planta, en seis de ellos con cepellón y en uno de ellos se extrae el arrayán a raíz desnuda. Los resultados indican que la explotación de azálea es la que mayor pérdida de suelo conlleva, por ser mayor su cepellón y mayor la cantidad de planta extraída, mientras que la explotación de la cedrela es la de menor, por ser más pequeño el tamaño de su cepellón y la cantidad de planta extraída. Se concluye que es necesario detener la extracción de cepellón e implementar sólo la venta de follaje, para reducir considerablemente la pérdida de horizonte con alto contenido de materia orgánica, así como recuperar las buenas prácticas de manejo del suelo que se realizaban antaño y trabajar en la implementación de nuevas tecnologías agroforestales.

Palabras clave: Pérdida de suelo, prácticas de producción, cepellón, ornamentales.

ESTIMATING SOIL LOSS IN THE OCOTITLA'S PRIVATE PROPERTY IN XALTEPUXTLA, PUEBLA

In this work, the measurements of volume and weight of soil and roots were used to determine the effect of management on the soil loss and degradation in the property of Ocotitla, in Xaltepuxtla, Puebla. There are two factors causing the soil loss in Xaltepuxtla: the plant extraction with root ball and the land sale as a substrate. The work interrelates the root ball size per plant extracted with plant density and the annual sales, in order to get how many tons of soil are lost per year. Nowadays, seven productive ornamental systems present plant extraction, for this reason they were considered; six of them with root ball extraction and one of them (common box) with bare root extraction. The results indicate that the azalea exploitation involves the greatest loss of soil, because of its root ball size and the quantity of plant extracted that is the greatest. In the other hand, the exploitation of cedrela represents the lowest soil loss, due to its root ball size and the amount of extracted plant. It is concluded that it is necessary to stop the extraction of plant with root ball and to implement just the sale of foliage, in order to reduce significantly the loss of organic horizon, as well as to recover the good

⁴. Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Saudizaref Ruiz Moreno
Director de tesis: Dra. María Edna Álvarez Sánchez

practices of soil handling that once was performed and to work in the implementation of new agroforestry technologies.

Key words: Loss of soil, practices of production, root ball extraction, ornamental plants.

4.2. Introducción

La fragilidad de la Cuenca Hidrográfica del río Necaxa se conoce desde 1938, año en que se dio la categorización de ésta, como Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Necaxa. Dicha figura buscaba conservar la vegetación forestal, evitar los aprovechamientos comerciales e implementar la reforestación. Desafortunadamente a las dependencias encargadas de velar por el cumplimiento de las propuestas, les faltó impulso; además de que la figura era débil en sí misma, al no tener un carácter de obligatoriedad. Con el paso de las décadas surgió la preocupación, debido a que seguían perpetrándose prácticas insostenibles ambientalmente y abusos en el uso de los recursos forestales. Por ello, en 1988 se promulgó la Ley General de Equilibrio Ecológico y la protección al ambiente (LGEEPA), en la cual ya se encontraba establecido, en el artículo tres, un concepto jurídico de gran ayuda, el ordenamiento ecológico, el cual es definido como: el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos (Diario Oficial de la Federación, 2016). En esta figura ya se denota obligatoriedad, no obstante, al impulsar acciones de protección que no han tomado en cuenta las necesidades y realidad de la gente de la región, es poco lo logrado.

Tomando en cuenta esta realidad en el ordenamiento ecológico de las cuencas hidrológicas del río Necaxa y Laxaxalpan, realizado por la Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Nacional de Ecología (2001), se menciona que la sierra Norte de Puebla es una región prioritaria para el gobierno del estado,

dado que presenta altos índices de pobreza, marginación y atraso social, los cuales se localizan principalmente en la población indígena del medio rural.

En el ámbito ecológico la región presenta una situación favorable debido a su gradiente altitudinal, mismo que le permite una amplia biodiversidad y la presencia de tres ecosistemas entre los que se nombran: Bosque Templado de Coníferas, Bosque Mesófilo de Montaña y zonas de selva mediana subperenifolia en el fondo de barrancas y cañadas. Dichos ecosistemas son los responsables de la recarga acuífera de la Cuenca Hidrológica del Río Necaxa, que produce el 3% de la energía hidroeléctrica del país (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2011). Por tanto, la conservación de los boques es un imperativo, pues éstos contribuyen a garantizar la recarga hídrica necesaria para tal aprovechamiento (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2013). Buscando proteger los bosques y evitar la tala clandestina el 9 de noviembre de 2002, la Cuenca Hidrográfica del río Necaxa se recategorizó como Área de Protección de Recursos Naturales Protectora Forestal Vedada (Ríos, 2012).

Sin embargo, el área ha sido cubierta en su mayoría por sistemas de producción de ornamentales, quedando tan sólo relictos bastante fragmentados de Bosque Mesófilo de Montaña. Ríos (2012), en su informe sobre la zona, menciona ese cambio de uso del suelo y hace énfasis en que el ecosistema más transformado ha sido el Bosque Mesófilo de Montaña, principalmente por la producción de plantas de ornato; actividad que responde al mercado de plantas de Tenango de las Flores, cuya importancia es de carácter nacional.

Los cultivos ornamentales dominantes en la región son: el arrayán (*Buxus sempervirens* L.), azálea (*Rhododendrom indicum* (L.) Sweet), chima (*Chamaesiparis lawsoniana* (A. Murray) Parl.), cedrela (*Juniperus* sp.) y camelia (*Camellia japonica* L.). La implementación de estos cultivos ha implicado un inminente cambio de uso del suelo que, junto con la deforestación, ha impactado de manera considerable en los niveles de captación de los vasos de almacenamiento de la cuenca. Además, se puede observar el empobrecimiento

que han sufrido los suelos, la formación de cárcavas, la modificación del clima, incidencias de inundaciones e incendios forestales (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2013). A todo ello hay que sumar las malas prácticas de manejo dentro de los sistemas productivos, como son: la extracción de la planta con cepellón, el uso de azadón para eliminar las arvenses y de paso remover la tierra, así como la extracción de suelo para vender como sustrato.

Por lo anterior, en este trabajo se pretende estimar la pérdida de suelo, por extracción de bancos de tierra, en siete sistemas de producción tradicional, mediante la medición del volumen y peso del suelo y de las raíces, para determinar el efecto del manejo en la degradación y pérdida de suelo.

La importancia de la investigación reside en disponer de datos reales de cuánto suelo se está perdiendo por año, para demostrar a los trabajadores que el actual manejo no es sostenible y que es necesario implementar acciones de intervención que impulsen el desarrollo del área. Además de trabajar de la mano con las instituciones gubernamentales, las cuales deben de tomar en cuenta la realidad y necesidades de los locales para coadyuvar en la implementación de programas adecuados.

4.3. Materiales y Métodos

4.3.1. Localización de la zona de estudio

La investigación se realizó en la propiedad privada Ocotitla (40 ha), en la comunidad de Xaltepuxtla, perteneciente al municipio de Tlaola, en el estado de Puebla (Figura 4.1), dentro del APRN Necaxa, decretada posteriormente APRN “Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2015).



Figura 4.1. Delimitación de la propiedad privada Ocotitla (polígono rosa) en Xaltepuxtla, Puebla, dentro de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa. Fuente: Figura 3.2 en capítulo 3 de esta Memoria de Tesis.

Dicha zona se localiza entre las coordenadas extremas $97^{\circ} 58' 5.303''$ longitud oeste $20^{\circ} 11' 23.06''$ latitud norte y $97^{\circ} 57' 30.836''$ longitud oeste $20^{\circ} 10' 57.124''$ latitud norte, a una elevación de 1280 msnm. El tipo de suelo predominante es andosol mólico (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2013).

El clima corresponde a un (A)Cb(fm)(i)gw", el cual se define como semi cálido del grupo de los templados con verano fresco largo; húmedo con régimen de lluvias intermedio y un porcentaje de precipitación invernal menor de 18; con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales; marcha anual de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula. La temperatura media anual de 18.45°C y la precipitación media anual de 1524.66mm (ver capítulo 3 de esta Memoria de Tesis).

La vegetación potencial corresponde al Bosque Mesófilo de Montaña, que se caracteriza por la abundancia de helechos, una gran cantidad de epífitas y, sobre todo, por las lluvias frecuentes, nubosidad, neblina y humedad atmosférica alta durante todo el año (Williams-Linera, 2012). En la actualidad estos bosques están extremadamente degradados por la expansión del cultivo de ornamentales.

En concreto, en la propiedad de Ocotitla, se han identificado once sistemas productivos de ornamentales y un relicto de Bosque Mesófilo de Montaña (Figura 4.2; tomada del capítulo 3 de esta Memoria de Tesis); los sistemas productivos consisten en cultivos de azálea, arrayán, cedrela y chima, o bien combinados entre sí o con otros. Únicamente en los siete sistemas productivos marcados con un triángulo en la Figura 4.2 se extraen plantas de ornamentales en la actualidad y, en todos ellos, excepto en el denominado Arrayán (en el que se extrae la planta a raíz desnuda) la extracción de planta se hace con cepellón, por lo tanto, conllevan una pérdida de suelo. En los sistemas Chima J.L. y Chima Alicia, si bien se extraían arbustos en el pasado, ya no se extraen en la actualidad. En el sistema denominado Semilleros se dejan los plantones extraídos de otras zonas hasta decidir qué hacer con ellos, y el sistema denominado Silvopastoril corresponde a un cultivo de Chima que se explota para follaje y cultivo de forrajeras para ganadeo ovino, por lo que en ninguno de ellos hay extracción de suelo. Por último el sistema denominado BMM es un relicto de Bosque Mesófilo de Montaña, vegetación potencial de la zona en el pasado.

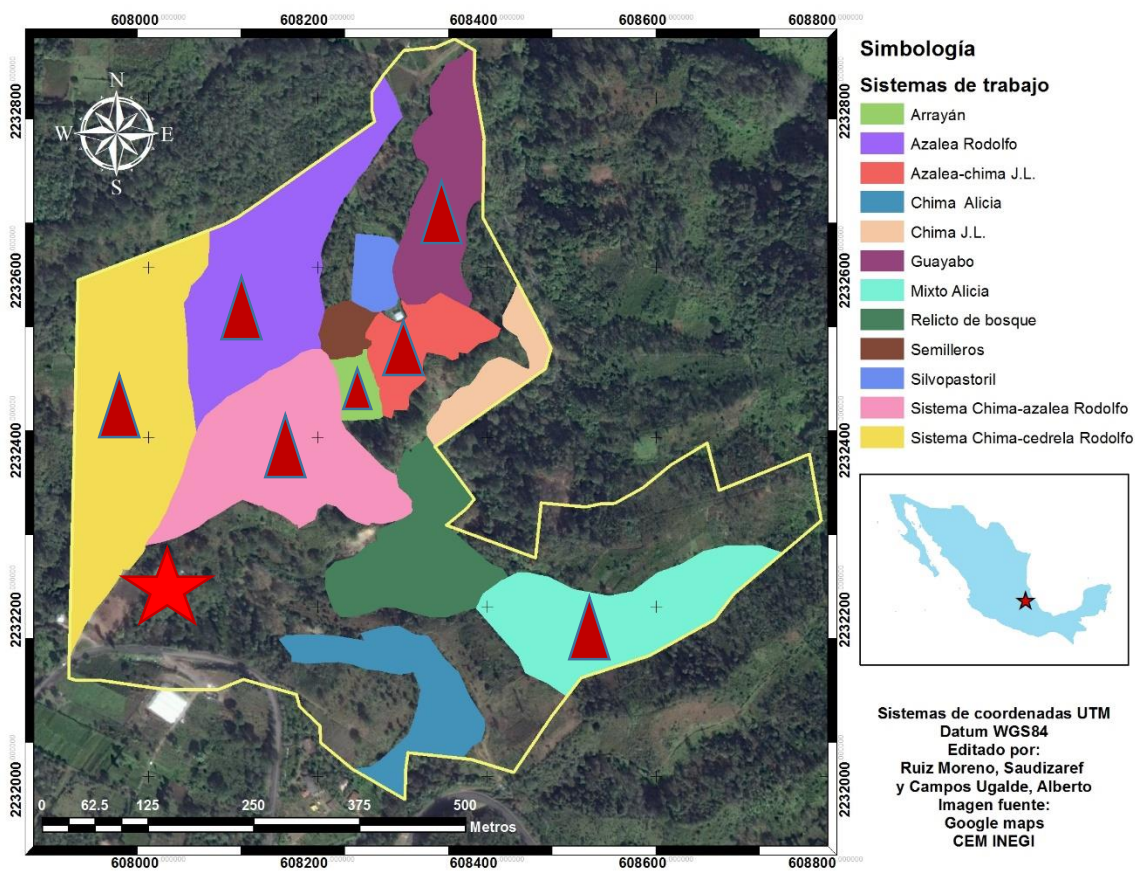


Figura 4.2. Sistemas productivos de ornamentales y relicto de Bosque Mesófilo de Montaña identificados en la propiedad de Ocotitla, en en Xaltepuxtlá, Puebla. Los siete sistemas productivos marcados con un triángulo son los seleccionados para estimar la pérdida de suelo por extracción de planta con cepellón: Rodolfo, J.L. (José Luis) y Alicia al final de los nombres de los sistemas productivos se refieren a los nombres de sus propietarios; el sistema Guayabo es un sistema mixto de azálea y chima en el que recientemente se ha plantado Guayabo (*Psidium guajava*); el sistema mixto de Alicia incluye cedrela, chima, azálea y camelia. Las áreas que no tienen color pertenecen a zonas en descanso, las cuales fueron reforestadas en 2012, la estrella roja marca donde se encuentra la casa de los medieros y parte de esa área es ocupada por un pequeño vivero.

4.3.2. Estimación de la pérdida de suelo y carbono radicular por extracción de cepellón

Para la estimación de la pérdida de suelo y de carbono radicular que conlleva la extracción de plantas de ornamentales se siguió la metodología de muestreo propuesta por Etchevers et al. (2005), ligeramente modificada. Ésta consistió en

marcar tres círculos de 3 m de radio (28.27 m²) dentro de cada sistema seleccionado (los siete sistemas productivos en los que se extrae planta con cepellón en la actualidad), tal y como indica la Figura 4.3. Los círculos se eligieron aleatoriamente dentro de cada sistema, pero siendo representativos de toda su superficie. Cada círculo se dividió en cuatro cuadrantes, estando el primero orientado hacia el noreste, el segundo hacía el sureste y así sucesivamente siguiendo el sentido de las agujas del reloj.

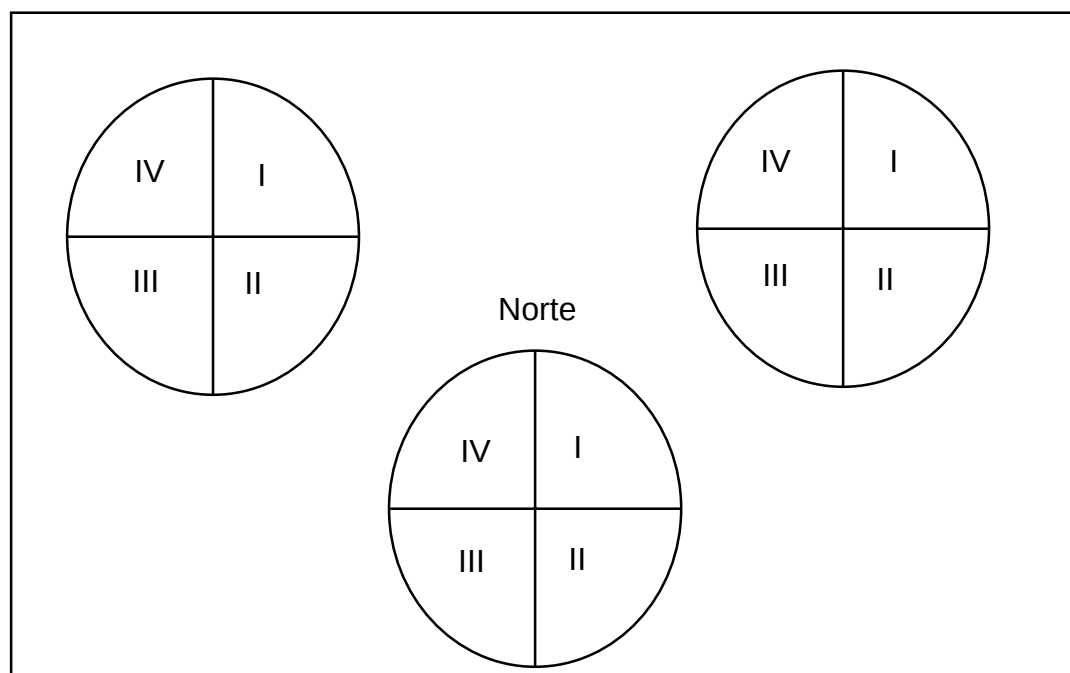


Figura 4.3. Esquema del sistema de muestreo, basando en la metodología de Etchevers et al. (2005), llevado a cabo dentro de cada sistema de producción de ornamentales con extracción de cepellón.

En el cuadrante II de cada círculo se extrajeron tres plantas con cepellón. En el caso de cultivo mixto, el número de plantas correspondientes a cada especie fue proporcional a la densidad que cada una mostraba en el conjunto de la superficie correspondiente a cada sistema (ver Cuadro 4.1).

A las plantas extraídas se les cortó el follaje (parte aérea) a ras de suelo y se pesó el cepellón en húmedo, incluyendo las raíces. Posteriormente, se sacudió el cepellón para separar el suelo de las raíces. Las raíces extraídas de cada cepellón se pesaron en seco, tras ser lavadas en el laboratorio y secadas en estufa a 75 °C hasta peso constante. Sólo las raíces de nueve cepellones (representativas de todas las especies y sistemas considerados) se pesaron en fresco para conocer el factor de proporción de agua en raíces, que fue de 1.98, y calcular así el peso húmedo de raíces por cepellón (peso seco x 1.98). También se estimó el volumen de raíces por cepellón (en cm³) tras multiplicar el peso seco de raíces (g) por 0.7 g/cm³, que se estimó como la densidad media de las raíces en el suelo para el conjunto de las especies extraídas en este estudio. Para realizar esa estimación se tomaron como referencia varios trabajos que determinan la densidad de raíces en el suelo para *Juniperus flaccida* var. Poblana Martínez (Borja et al., 2010), y *Schizolobium parahyba* y *Centrolobium tomentosum* (Álvarez, 2008); el valor medio dio como resultado 0.7 g/cm³. Las raíces secas se trituraron y molieron para determinar su contenido en carbono (% en peso) a través del método de combustión seca en un analizador de carbono Shimadzu TOC 5000-A, tras tomar una muestra de 0.3 mg. Para calcular el carbono contenido en las raíces, se multiplicó el peso seco de las raíces de cada cepellón por su proporción relativa de carbono.

El peso húmedo del suelo sin raíces por cepellón se calculó por diferencia entre el peso húmedo del cepellón (medido en campo) y el peso húmedo de las raíces que contenía (estimado como se mencionó anteriormente). Esto se hizo así por la imposibilidad de separar todo el suelo de las raíces hasta que no fueron lavadas y, por tanto, dificultar la obtención de un dato fiable. El peso seco del suelo contenido en cada cepellón se estimó a partir de tres submuestras, que se pesaron individualmente, tanto en húmedo como en seco, tras secado en estufa a 110 °C durante unas 72h a las que se alcanzó peso constante. Esto se hizo así al no disponer en el laboratorio de estufas del tamaño suficiente como para poder procesar las muestras completas. El

contenido de humedad del conjunto de las tres submuestras por cepellón (w) se estimó a partir de la expresión: $w (\%) = ((Ph - Ps) / (Ps)) \times 100$, donde:

Ph = peso húmedo del conjunto de las tres submuestras de suelo (g)

Ps = peso seco del conjunto de las tres submuestras de suelo (g)

Determinado el porcentaje de humedad del conjunto de las submuestras edáficas, se pudo calcular el peso seco del total del suelo extraído por cepellón (PTs), despejando este parámetro de la anterior formula como se muestra a continuación: $PTs = (PTh) / ((w/100) + 1)$ ⁵, donde:

PTh = peso húmedo del total de suelo por cepellón (g)

w = porcentaje de humedad del conjunto de las tres submuestras de suelo por cepellón (g)

Finalmente, se estimó el volumen del suelo que se pierde por cepellón, a través del cálculo del volumen del hoyo que queda en el terreno tras extraer cada planta. Para ello, se cubrió el hueco con una bolsa de plástico y se llenó de agua con la ayuda de una probeta graduada de 500 ml, para conocer la cantidad exacta de agua que cabía en cada hoyo. Por diferencia entre el volumen del hoyo y el volumen de raíces por cepellón se calculó el volumen de suelo que se pierde al extraer cada planta.

Merece ser mencionado que para llevar a cabo, en campo, la extracción de planta con cepellón fueron dos de los medieros quienes extrajeran el cepellón siguiendo sus prácticas habituales de acuerdo a los criterios que consideran para ello (tamaño del arbusto, forma y uso posterior).

⁵ Expresión que se obtiene al despajar Ps de la ecuación anterior como sigue:

$$w = (((Ph/Ps) - (Ps/Ps)) / 100)$$

$$w = ((Ph/Ps) - 1) / 100$$

$$w/100 = (Ph/Ps) - 1$$

$$(w/100) + 1 = Ph/Ps$$

$$Ps = Ph / ((w/100) + 1)$$

4.3.3. Estimación del contenido en carbono de los suelos y de la cantidad de carbono que se está perdiendo por cepellón extraído

De acuerdo con el esquema del sistema de muestreo de la Figura 4.3, en el cuadrante I de todos los círculos, en los doce sistemas productivos, se llevó a cabo el muestreo de suelos para la determinación de su contenido en carbono orgánico. Para ello, se tomaron 3 muestras de suelo por cuadrante a distintas profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm); se estimó que 45 cm era la profundidad máxima hasta la que llegaban los cepellones extraídos. La determinación del carbono edáfico se hizo por combustión seca en un analizador de carbono Shimadzu TOC 5000-A, utilizando 0.08 mg de muestra en la mayoría de los casos, por tratarse de suelos muy oscuros; en los escasos suelos que presentaron un color más claro se necesitó una muestra mayor (0.207 mg). Finalmente, se calculó el promedio del porcentaje de carbono orgánico contenido en las tres muestras tomadas por círculo (a tres profundidades distintas). Para calcular el porcentaje promedio de carbono en suelo por sistema se hace la media de los datos obtenidos en los tres círculos (n=3).

Este porcentaje de carbono promedio que contienen los suelos se multiplicó por el peso seco del suelo extraído por cepellón en el cuadrante II del mismo círculo, únicamente en los siete sistemas en los que se extrae planta con cepellón, para conocer la cantidad de carbono que se está perdiendo al extraer suelo por extracción de planta con cepellón.

En el caso de los sistemas en los que no tiene lugar extracción de planta con cepellón en la actualidad, pero tienen plantadas ornamentales (Silvopastoril, Chima J.L. y Chima-Alicia), la cantidad de carbono que se perdería al extraer suelo por extracción de planta con cepellón, en caso de extraerse planta, se estima multiplicando el porcentaje de carbono promedio que contienen los suelos de dichos sistemas por el peso seco del suelo extraído por cepellón de

las plantas de chima extraídas del sistema Mixto-Alicia, pues es el que más similitud tiene con estos.

Del mismo modo se procedió para estimar la cantidad de carbono que se perdería por las raíces extraídas por cepellón, en caso de extraerse planta en dichos sistemas. De modo que ahora se multiplicaría el porcentaje de carbono promedio que contienen las raíces de chima del sistema Mixto-Alicia por el peso seco de las raíces extraídas por cepellón de dichas plantas.

4.3.4. Estimación de la pérdida de carbono (t/ha) en suelo y raíces por extracción de cepellón en cada sistema productivo y para cada especie

El peso en gramos de carbono que contiene el suelo de cada cepellón extraído se multiplicó por la densidad de planta (nº plantas/ha) de cada especie en cada sistema (ver Cuadro 4.1) y se dividió por 10^6 para convertirlo a toneladas/hectárea y obtener el promedio de carbono en suelo que se pierde (en los siete sistemas productivos en los que se extrae planta con cepellón) o perdería (en los tres sistemas que tienen plantadas ornamentales aunque ya no se extraen en la actualidad) por extracción de cepellón en t/ha, para cada sistema y especie.

Cuadro 4.1. Densidad de planta por hectárea y extracción anual de planta en los siete sistemas productivos para cada especie extraída.

Sistema Productivo	Tipo de planta	Nº de plantas/ha (1)	Nº de plantas extraídas por año (2)
S1.Guayabo	Azálea	16000	200
	Chima	33	100
S3.AZ-CH-J.L.	Azálea	9600	200
	Chima	6000	100
S5.Arrayán	Arrayán	53333	5000
S7.AZ-CH-Rodolfo	Azalea	10333	200
	Chima	10000	200
S8.Azálea-Rodolfo	Azalea	40000	400
S9.CH-CE-Rodolfo	Chima	5000	70
	Cedrela	733	30
S10.Mixto-Alicia	Cedrela	1333	100
	Camelia	2000	100
	Azálea	3333	100
	Chima	10000	100

^zpara conocer la densidad de planta de cada especie por hectárea se contó, en campo, el número de plantas dentro de un cuadrado de 11 m de lado, después se extrapoló a la superficie total del sistema y finalmente se relativizó por ha.

^yLa extracción anual de planta por sistema y especie se conoce por las entrevistas que se realizaron a medieros y propietarios, a través de las cuales se pudo conocer el número de plantas que se vende anualmente y qué especies se venden con cepellón.

Del mismo modo, el peso en gramos de carbono que contienen las raíces de cada cepellón extraído se multiplicó por la densidad de planta (nº plantas/ha) de cada especie en cada sistema y se dividió por 10^6 para convertirlo a toneladas/hectárea y obtener el promedio de carbono en raíces que se pierde (en los siete sistemas productivos en los que se extrae planta con cepellón) o perdería (en los tres sistemas que tienen plantadas ornamentales aunque ya no se extraen en la actualidad) por extracción de cepellón en t/ha, para cada sistema y especie.

4.3.5. Estimación de la pérdida anual de suelo por sistema productivo y especie

Para determinar la pérdida anual de suelo, en t/ha, por sistema productivo y especie de ornamental, se multiplico el peso seco del suelo expresado en gramos de cada cepellón por la frecuencia de extracción anual (cantidad de planta de cada especie que se vende al año por ha, ver Cuadro 4.1). El resultado se llevó a t/ha tras dividirlo por 10^6 y, finalmente, se indica el rango de valores entre los que se encuentra el valor medio para todos los cepellones de la misma especie.

La pérdida anual de suelo en volumen (m^3/ha) se estima multiplicando el volumen de suelo extraído por cepellón, en m^3 , por la frecuencia de extracción anual de planta por hectárea.

La pérdida anual de carbono en suelo y de carbono en raíces por extracción de cepellón, en t/ha se obtuvo multiplicando el peso de carbono, en gramos, que contiene el suelo y de raíces respectivamente de cada cepellón por la frecuencia de extracción anual por ha de planta de cada especie en cada sistema y se dividió por 10^6 para expresarlo en t/ha.

4.3.6. Tratamiento estadístico

En primer lugar se comprobó que los datos de las variables estimadas, en relación con la pérdida de suelo y carbono por extracción de planta con cepellón, no cumplían las asunciones de normalidad (test de Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (test de Levene) necesarias para hacer uso de la estadística paramétrica (Guisande & Barreiro, 2011). Por ello, se aplicaron análisis de Kruskal-Wallis para comparar los valores de las diferentes variables, tanto entre sistemas como entre especies. Tras encontrar diferencias estadísticamente significativas en todos los casos, se aplicaron los contrastes a posteriori (test U de Mann-Whitney corregido mediante el ajuste de Bonferroni) para comprobar entre qué pares de comparaciones se encontraban las diferencias ($p < 0.05$). En la comparación entre especies la *Camelia* no se incluyó en el análisis por disponer sólo de datos de una planta extraída.

El diseño experimental de tipo incompleto (no en todos los sistemas se dispone de datos de las mismas especies) impidió comprobar mediante técnicas clásicas de estadística la interacción entre sistema y especie para las diferentes variables estimadas. No obstante, dicha interacción se pudo detectar cuando se analizaron todos los datos de forma global (diferentes combinaciones de sistema productivo y especie extraída) mediante técnicas de ordenación multivariantes, como el Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP también se aplicó considerando sólo los sistemas productivos y considerando sólo las especies extraídas, para visualizar mejor las tendencias encontradas tras los análisis de Kruskal-Wallis. Finalmente, se realizó otro ACP para ordenar los sistemas productivos en función de la pérdida anual de suelo y de carbono en suelo y raíces.

El porcentaje de carbono de los suelos de los 12 sistemas productivos se pudo comparar mediante un Análisis de la Varianza (ANOVA) de una vía, pues estos datos sí cumplían los requisitos de normalidad y homocedasticidad necesarios para hacer uso de la estadística paramétrica.

Tanto la comprobación de las asunciones de normalidad y homocedasticidad, como los análisis de Kruskal-Wallis y el ANOVA se llevaron a cabo haciendo uso del programa STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Los ACPs fueron realizados con el programa CANOCO 4.5 (Ter Braak & Šmilauer, 2002).

4.4. Resultados y Discusión

4.4.1. Contenido en carbono de los suelos

En el Cuadro 4.2 se presentan los resultados del porcentaje de carbono orgánico que contienen los suelos de los 12 sistemas estudiados.

El ANOVA de una vía muestra diferencias estadísticamente significativas ($F_{(11, 24)} = 5.41$; $p < 0.001$) entre sistemas en el porcentaje de carbono orgánico de los suelos. Las principales diferencias se encuentran entre los suelos del sistema S3.AZ-CH-J.L. y los de los sistemas S4.Semilleros, S6.Chima-J.L., S9.CH-CE-Rodolfo, S11.Chima-Alicia y S12.BMM (ver Cuadro 4.2).

Los suelos que presentan menor porcentaje de carbono orgánico son los del relicto de BMM, esto se asocia a que es un sistema muy degradado, el cual se empezó a conservar hace tan sólo 14 años. Anteriormente, se usaba para sembrar chima, que por muchos años se extrajo con cepellón. Actualmente el horizonte con alto contenido de materia orgánica es nulo, presentando suelos pedregosos color café y la vegetación de sucesión secundaria que ha invadido, sobre todo gramíneas, detiene un mayor deterioro, puesto que todo el relicto se encuentra en pendientes que van de 15-100%.

También en tres de los cuatro sistemas productivos en los que no se extrae actualmente planta ornamental, el porcentaje de carbono orgánico en los suelos es menor que en los demás sistemas; es el caso de S4.Semilleros, S6.Chima-J.L. y S11.Chima-Alicia. Sin embargo, en S2.Sivopastoril, donde tampoco se extrae actualmente planta ornamental, el porcentaje de carbono orgánico en el suelo es de los más altos. Lo anterior se debe a que en los sistemas S6.Chima-J.L. y S11.Chima-Alicia se dejó de extraer cepellón hace 4 años, además son sistemas con pendientes mayores al 40%, por lo cual los resultados muestran las consecuencias del manejo. En el silvopastoril se dejó de extraer planta desde 2010, es un sistema que se encuentra en superficie prácticamente plana, con pendientes de 0-15%, además en este sistema se dejaba sobre el suelo lo que se podaba y no se hacía uso de azadón.

Cuadro 4.2. Porcentaje medio (n=3) y error estándar del carbono orgánico contenido en los suelos de los 12 sistemas estudiados, a partir del muestreo de los suelos a tres profundidades llevado a cabo en el cuadrante I. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas, tras comprobar con el ANOVA que hay diferencias significativas entre sistemas.

Sistema	Media	Error estándar	Comparaciones por pares
S1. Guayabo	14.13	1.03	abd
S2. Silvopastoril	14.34	1.47	abc
S3. AZ-CH-J.L.	14.44	1.03	a
S4. Semilleros	8.84	0.18	bc
S5. Arrayán	10.25	0.32	abc
S6. Chima-J.L.	8.73	1.19	bc
S7. AZ-CH-Rodolfo	12.06	1.55	abc
S8. Azálea-Rodolfo	9.66	0.60	abc
S9. CH-CE-Rodolfo	8.37	1.61	cd
S10. Mixto-Alicia	14.51	1.17	ab
S11. Chima-Alicia	8.57	1.99	Bc
S12. BMM	7.89	0.60	C

^z. Abreviaturas: AZ= Azálea; CH= Chima; CE= Cedrela; BMM= Bosque Mesófilo de Montaña; Rodolfo, J.L. (José Luis) y Alicia al final de los nombres de los sistemas productivos se refieren a los nombres de sus propietarios; el sistema Guayabo es un sistema mixto de azálea y chima en el que recientemente se ha plantado Guayabo (*Psidium guajava*); el sistema mixto de Alicia incluye cedrela, chima, azálea y camelia.

Entre los sistemas productivos actualmente en explotación, se encuentran los porcentajes más altos de carbono orgánico en suelo (S1.Guayabo, S3.AZ-CH-J.L., S5.Arrayán y S7.AZ-CH-Rodolfo). Teniendo en cuenta que en tres de ellos (excepto en S5.Arrayán donde la planta se extrae a raíz desnuda) se producen pérdidas importantes de suelo por extracción de planta ornamental con cepellón, son obvias las implicaciones de esta práctica productiva en la limitación de su contribución a compensar las emisiones de CO₂ atmosférico, a través de su potencialidad para secuestrar carbono. Es decir, que con la extracción de planta con cepellón se contribuye a reducir el almacén de carbono que potencialmente esos suelos podrían secuestrar y, con ello, no se contribuye

a la mitigación del cambio climático. Ordoñez (1999) nos habla del potencial del sector forestal en México para convertirse en un sumidero de carbono en el corto plazo. En este sentido, las Áreas Nacionales Protegidas y bosques naturales son de las mejores opciones para la captura de carbono y llevan implícita la conservación de suelos y el cuidado de la biodiversidad, por lo cual en el área de estudio los índices de captura de carbono se pueden capitalizar tanto económica como ambientalmente si se mejoran.

4.4.2. Pérdida de suelo y carbono en suelo y raíces por cepellón

Los resultados muestran como es en los sistemas: S1.Guayabo, S8.Azálea-Rodolfo y S10.Mixto-Alicia (mitad derecha del ACP), en los que las prácticas tradicionales de producción de planta ornamental con cepellón suponen la mayor pérdida de suelo, tanto en peso como en volumen, así como la mayor pérdida de carbono orgánico (Figura 4.4 y Cuadro 4.3). Por el contrario, es en los sistemas S3.A-CH-J.L. y S5.Arrayán (extremo negativo del ACP1) en los que las pérdidas son menores para todas las variables estimadas.

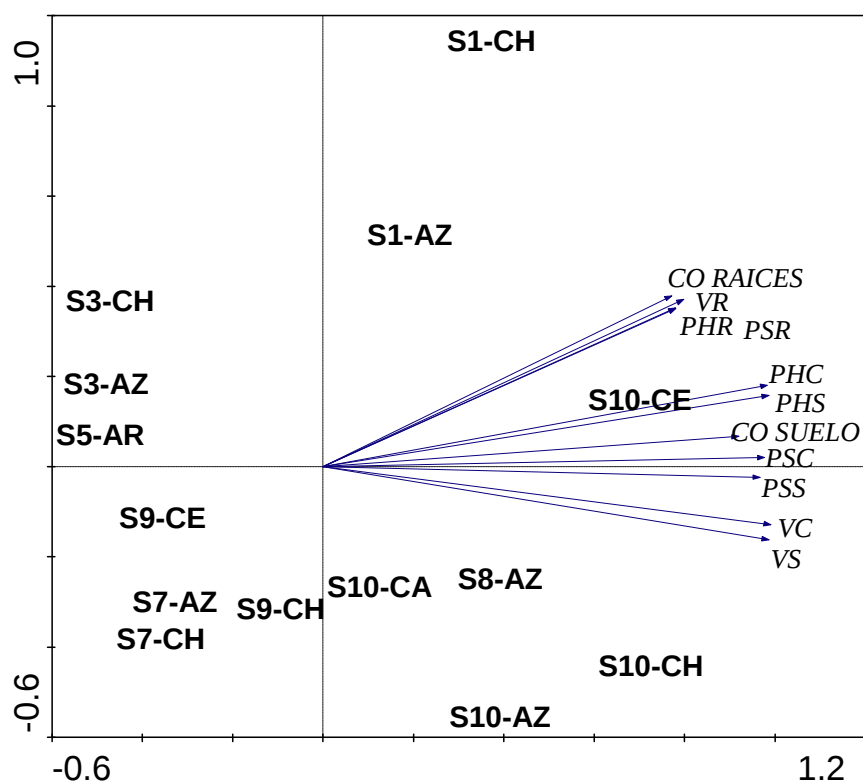


Figura 4.4. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena las diferentes combinaciones de especie y sistema productivo en función de las variables estimadas, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 97.1% de la varianza total. Abreviaturas como en Cuadro 4.3.

El análisis Kruskal-Wallis muestra diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas productivos para todas las variables estimadas (Cuadro 4.4). En todos los casos, los valores más extremos se dan entre los sistemas S5 y S10, siendo siempre menores en S5 y mayores en S.10 (Figura 4.5a). En los sistemas S8 y S10 la pérdida de suelo es mayor porque: 1) la planta se extrae con cepellón; 2) en específico en el S8, la planta es más grande, la venta anual por hectárea es mayor y se extrae suelo para venderlo como sustrato; 3) en el S10, las cuatro especies que se producen en él, se extraen con cepellón, el tamaño de este va a depender a su vez del tamaño del arbusto; 4) en el S1 aunque se ha dejado descansar desde 2014, cuando se extraiga la azálea la pérdida de suelo será considerable. Finalmente, estos sistemas van a diferir con el arrayán porque en este cultivo los arbustos salen a raíz desnuda.

Cuadro 4.3. Valor medio y error estándar de los diferentes parámetros estimados en relación con la pérdida de suelo y carbono por extracción de planta con cepellón, en los siete sistemas productivos seleccionados y para todas las especies extraídas. El peso y la cantidad de carbono se expresan en g y el volumen en cm³.

SISTEMAS	ESPECIE	n	PSR	PHR	PHC	PSC	PHS	PSS	VR	VS	VC	CR	CS
S1. Guayabo	Azalea	7	227±63	448±169	5652±2136	2180±824	5203±1967	1953±738	324±122	4580±1731	4904±1854	112±43	276±104
	Chima	2	297±30	588±416	6885±4868	2677±1893	6297±4453	2380±1683	425±300	5075±3589	5500±3889	146±103	325±229
S3.AZ-CH-J.L.	Azalea	8	81±18	160±56	2289±809	1063±376	2129±753	983±347	115±41	1690±597	1805±638	40±14	142±50
	Chima	1	95±0	188±0	2750±0	1281±0	2562±0	1186±0	136±0	1864±0	2000±0	47±0	195±0
S5.Arrayán	Arrayan	9	25±3	49±5	1852±92	974±46	1802±91	949±46	36±4	1469±95	1505±98	12±1	97±5
S7.AZ-CH-Rodolfo	Azalea	7	104±11	207±21	2623±233	1117±93	2417±224	1013±89	116±12	2717±243	2833±250	51±5	128±18
	Chima	2	113±11	223±21	2520±250	1090±80	2297±271	977±90	125±12	2625±262	2750±250	55±5	132±26
S8.AZ-Rodolfo	Azalea	9	145±26	287±51	5429±996	2907±593	5141±957	2762±572	208±37	5570±1117	5778±1143	71±13	255±47
S9.CH-CE- Rodolfo	Cedrela	4	77±3	152±7	2925±230	1578±104	2773±228	1501±104	110±5	2745±380	2855±382	36±1	110±15
	Chima	5	147±9	290±18	3570±502	1935±251	3280±495	1789±249	209±13	3691±296	3900±292	69±5	160±29
S10.Mixto-Alicia	Azalea	1	80±0	157±0	5650±0	2484±0	5493±0	2404±0	114±0	6386±0	6500±0	38±0	334±0
	Cedrela	3	297±72	588±142	7185±2369	3268±935	6597±2232	2971±866	425±103	6742±2231	7167±2333	139±33	444±173
	Chima	4	321±24	634±47	6925±801	3066±324	6291±824	2745±338	458±34	7292±777	7750±750	151±10	393±48
	Camelia	1	62±0	122±0	4230±0	2117±0	4108±0	2056±0	88±0	4412±0	4500±0	29±0	345±0

Abreviaturas: AZ= Azálea; CH= Chima; CE= Cedrela; n= número de plantas extraídas; PSR= peso seco de raíces por cepellón; PHR= peso húmedo de raíces por cepellón; PHC= peso húmedo del cepellón; PSC= peso seco del cepellón; PHS= peso húmedo de suelo por cepellón; PSS= peso seco de suelo por cepellón; VR= volumen de raíces por cepellón; VS= volumen de suelo por cepellón; VC= volumen del cepellón; CR= carbono orgánico en raíces por cepellón; CS= carbono orgánico en suelo por cepellón.

También las diferencias entre especies son estadísticamente significativas para todas las variables estimadas (Cuadro 4.5), siendo menores los valores en el caso del arrayán (Figura 4.5b). Como ya se mencionaba en el apartado anterior, las especies van a presentar divergencias con el arrayán puesto que éste es extraído a raíz desnuda, además presentan diferencias entre ellas, porque del tamaño de los arbustos va a depender el tamaño del cepellón que se extraiga y también influye el número de plantas que se extraen al año.

No obstante, podría haber interacción entre sistema y especie, puesto que para la misma especie las pérdidas de suelo por extracción de cepellón no son iguales en distintos sistemas; por ejemplo, para azálea las pérdidas de suelo son mayores en S1 ó S8 que en S3 ó S7. Como se explica en tratamiento estadístico, la interacción no ha podido ser analizada con técnicas de estadística clásica por tratarse de un diseño experimental incompleto (no en todos los sistemas se dispone de datos de las mismas especies), pero queda patente en el análisis multivariante de tipo ACP.

Cuadro 4.4. Valor medio y error estándar (n=9) de los diferentes parámetros estimados en relación con la pérdida de suelo y carbono por extracción de planta con cepellón, en los siete sistemas productivos seleccionados. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) entre sistemas para las distintas variables estimadas.

SISTEMAS							
VARIABLES	S1	S3	S5	S7	S8	S9	S10
PHC (g)	5926±802 bc	2340±257 ac	1852±92 a	2568±208 ac	5429±996 bc	3283±303 ab	6571±828 b
PSC (g)	2290±305 bc	1088±122 ac	974±46 a	1100±83 ac	2907±593 bc	1777±153 abc	2963±329 b
PHR (g)	479±99 b	163±31 ab	49±5 ^a	211±19ab	287±51b	228±26 b	509±84 b
PSR (g)	242±50 b	82±16 ab	25±3 a	107±10 ab	145±26 b	116±13 b	257±42 b
PHS (g)	5446±753 bc	2177±230 ac	1802±91 a	2357±200 ac	5141±957 bc	3055±291 ab	6062±775 b
PSS (g)	2048±278 bc	1005±108 ac	949±46 a	993±79 ac	2762±542 bc	1661±147 abc	2706±303 b
VC (cm³)	5037±763 bc	1827±118 a	1505±98 a	2778±222 ac	5778±1143 bc	3436±286 ac	7056±218 bc
VS (cm³)	4690±708 bc	1709±162 a	1469±95 a	2659±217 ac	5570±117 bc	3271±276 ac	6688±780 bc
VR (cm³)	346±71 bc	118±22 ac	36±4 a	119±11 ac	208±37 bc	165±19 bc	368±60 bc
C-raíces (g)	120±25 b	41±8 ab	12±1 a	52±5 ab	71±13 b	55±6 b	121±20 b
C-suelo (g)	286±38 bc	148±20 ac	97±5 a	122±15 ac	255±47 ab	138±19 ac	398±55 b

Cuadro 4.5. Valor medio y error estándar de los diferentes parámetros estimados en relación con la pérdida de suelo y carbono por extracción de planta con cepellón, en función de la especie extraída. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) entre especies para los distintas variables estimadas. La Camelia no se incluye en el análisis estadístico por disponer sólo de una planta extraída.

VARIABLES	ESPECIES				
	AR	AZ	CE	CH	CA
	(n=9)	(n=32)	(n=7)	(n=14)	(n=1)
PHC (g)	1852±92 a	4077±721 b	4751±1248 b	4794±652 b	4230
PSC (g)	974±46 a	1879±332 ab	2302±495 b	2197±255 b	2117
PHR (g)	49±5 a	269±48 b	339±103 b	414±52 b	122
PSR (g)	25±3 a	136±18 b	171±52 b	209±16 b	62
PHS (g)	1802±91 a	3807±673 b	4412±1150 b	4380±611 b	4108
PSS (g)	949±46 a	1743±308 ab	2131±445 b	1987±237 b	2056
VC (cm ³)	1505±98 a	3962±700 b	4703±1265 b	4929±631 b	4500
VS (cm ³)	1469±95 a	3774±667 b	4458±1185 b	4635±601 b	4412
VR (cm ³)	36±4 a	187±33 b	245±75 b	294±39 b	88
C-raíces (g)	12±1 a	67±12 b	80±24 b	100±12 b	29
C-suelo (g)	97±5 a	204±36 b	253±94 ab	248±38 b	345

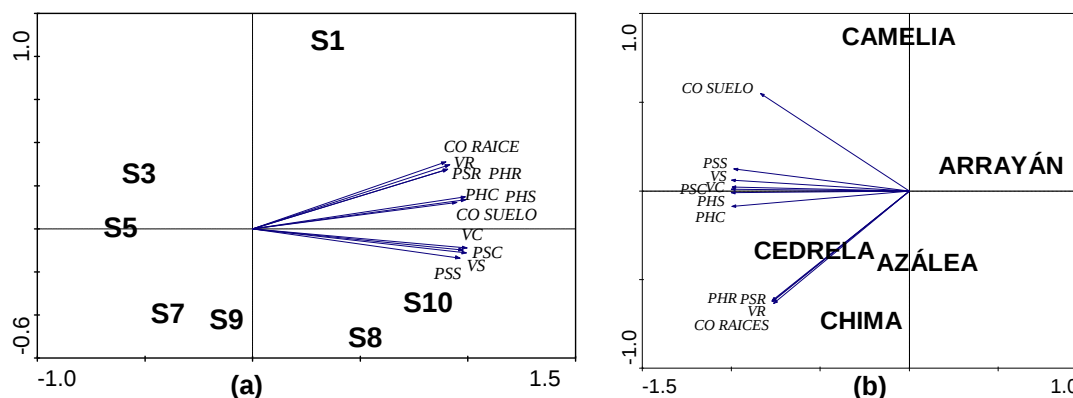


Figura 4.5. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena (a) los sistemas productivos y (b) las especies, en función de las variables estimadas, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 98 y 99.2% respectivamente de la varianza total. Abreviaturas como en Cuadro 4.3.

4.4.3. Estimación de la pérdida anual de suelo por sistema productivo y especie

Los resultados indican (Cuadro 4.6 y Figura 4.6) que la mayor pérdida anual de suelo, tanto en peso (t/ha) como en volumen (m^3/ha), se asocian a la explotación de azálea en el sistema 8, propiedad de Rodolfo, donde también son mayores los contenidos de carbono en el suelo y las raíces del cepellón (t/ha). En el sistema 8 es donde se extrae mayor cantidad de planta con cepellón de esta especie (el doble que en los otros), y donde el tamaño del cepellón de azálea extraído es mayor que en la mayoría de los sistemas (a excepción de en el sistema 10 donde es mayor; ver Cuadro 4.3) y mayor si se compara con los cepellones de otras especies (a excepción de la chima y cedrela en el sistema 10; ver Cuadro 4.3). Teniendo en cuenta que parte del sistema se encuentra en pendiente, se hace uso de azadón, aparte de la extracción del cepellón se extrae suelo para venderlo como sustrato, lo que vuelve al sistema altamente vulnerable.

Por el contrario, la menor pérdida anual de suelo, tanto en peso (t/ha) como en volumen (m^3/ha), se asocian a la explotación de cedrela, especialmente en el sistema 9. Es en este sistema donde se extrae la menor cantidad de planta con

cepellón de esta especie y de todas las especies, y donde el tamaño del cepellón de cedrela extraído es menor que el de cualquier otra especie. Además, los contenidos de carbono en el suelo y las raíces del cepellón (t/ha) son menores en este sistema para la cedrela.

Por otro lado, en los sistemas en los que no tiene lugar extracción de planta con cepellón en la actualidad (S2.Silvopastoril, S6.Chima-J.L. y S11.Chima-Alicia), la cantidad de carbono en suelo y raíces que se perdería, en caso de extraerse planta, es considerable, por lo que el cese de esta práctica productiva en dichos sistemas supone un ahorro importante de carbono en suelo (1.96-4.45 t/ha), pero especialmente en raíces (0.76-1.71 t/ha). De hecho, la extracción de planta en estos sistemas en el pasado ha hecho que en la actualidad presenten suelos pedregosos donde el horizonte fértil prácticamente se ha perdido (Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología, 2001). A ello han contribuido también las malas prácticas de manejo y la pendiente tan inclinada del terreno. A su vez esta pérdida de suelo, ha repercutido de una manera negativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como se constata en el capítulo 5 de esta Tesis.

Por su parte, los parámetros: pérdida anual de carbono en raíces (PACR) y suelo (PACS), en t/ha, por extracción de cepellón no resultan informativos (vectores de longitud prácticamente inexistente; ver Figura 4.6), pues fluctúan dentro de unos rangos muy estrechos.

Cuadro 4.6. Pérdida de carbono (t/ha) en suelo y raíces por extracción de cepellón, y pérdida anual de suelo, en peso (t/ha) y volumen (m³/ha), y de carbono (t/ha), en suelo y raíces, para cada sistema productivo y para cada especie extraída.

Sistema	Especie	Promedio Carbono en suelo t/ha	Promedio Carbono en raíces t/ha	Pérdida anual de suelo t/ha	Pérdida anual de suelo m ³ /ha	Pérdida anual de carbono en raíces t/ha	Pérdida anual de carbono en suelo t/ha
S1.Guayabo	Azalea	4.41	1.80	0.20-0.57	0.62-1.84	0.01-0.06	0.03-0.08
	Chima	5.19	0.01	0.27-0.68	0.62-1.42	0.03	0.03-0.10
S2.Silvopastoril ⁽¹⁾	Chima	2.24	0.86				
S3.AZ-CH-JL	Azálea	1.36	0.38	0.10-0.34	0.25-0.46	0.01-0.02	0.01-0.06
	Chima	1.17	0.28	0.12	0.37	0.001	0.02
S5.Arrayán ⁽²⁾	Arrayán	5.19	0.63			0.04-0.09	
S6.Chima J.L. ⁽¹⁾	Chima	1.96	0.76				
S7.AZ-CH-R	Azálea	1.24	0.53	0.10-0.27	0.28-0.59	0.01-0.02	0.01-0.04
	Chima	1.32	0.55	0.18-0.21	0.47-0.58	0.01	0.02-0.03
S8.AZ-R	Azálea	10.19	2.84	0.31-1.94	0.53-3.91	0.01-0.06	0.03-0.16
S9.CH-CE-R	Chima	0.80	0.35	0.06-0.14	0.13-0.27	0.01	0.01
	Cedrela	0.08	0.03	0.05	0.06-0.24	0.01	0.003
S10.M-A	Chima	3.93	1.50	0.20-0.34	0.60-0.91	0.01-0.02	0.03-0.05
	Cedrela	0.59	0.19	0.20-0.47	0.31-1.09	0.01	0.03-0.08
	Camelia	0.69	0.06	0.21	0.44	0.01	0.03
	Azálea	1.11	0.13	0.24	0.64	0.01	0.03
S11.Chima-Alicia ⁽¹⁾	Chima	4.45	1.71				

^zEn los sistemas en los que no tiene lugar extracción de planta con cepellón en la actualidad, la cantidad de carbono en suelo y raíces que se perdería al extraer planta con cepellón, en caso de extraerse planta, se estima tomando como referencia el sistema Mixto-Alicia para la chima, pues es el que más se parecía a ellos, pero teniendo en cuenta la densidad de planta del propio sistema.

^yComo las plantas de arrayán se extraen a raíz desnuda, sin cepellón, no es posible estimar las pérdidas anuales de suelo, en peso y en volumen, ni las pérdidas de carbono en suelo, derivadas de la extracción del cepellón.

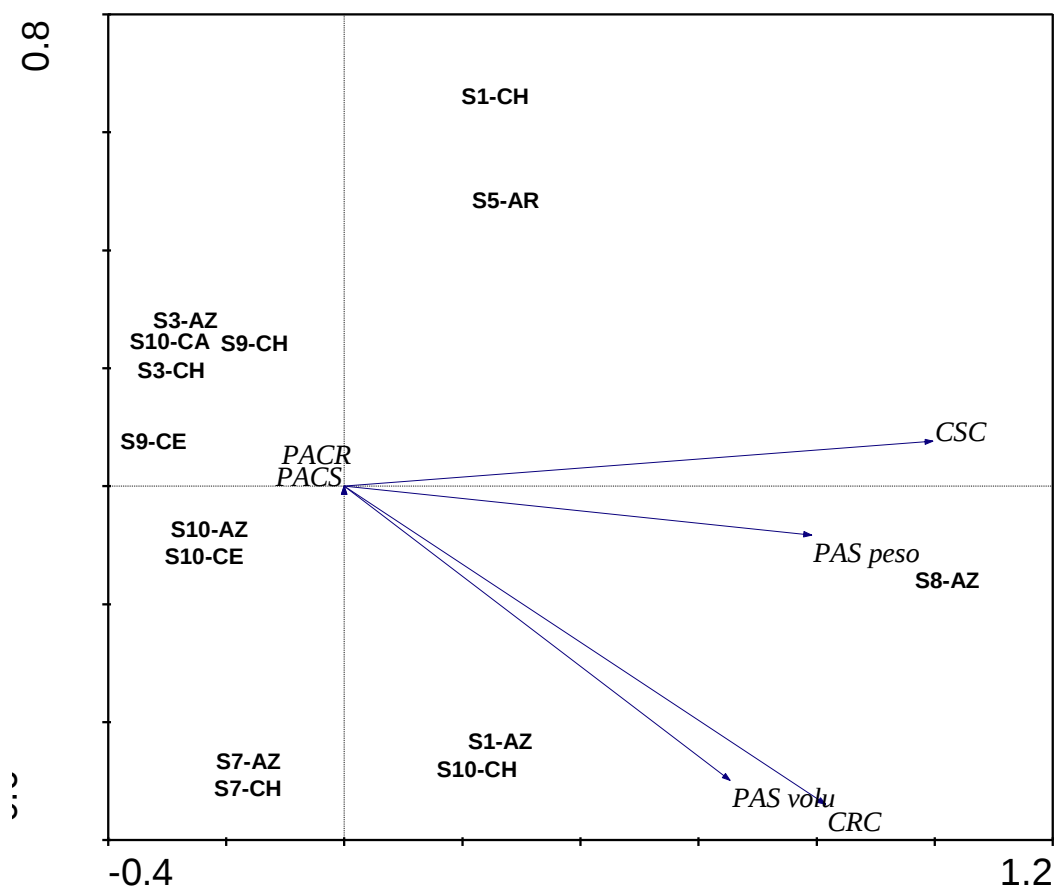


Figura 4.6. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena las diferentes combinaciones de especie y sistema productivo en función de las variables estimadas, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 92.9% de la varianza total. Abreviaturas: AZ= azálea; AR= arrayán; CA= camelia; CE= cedrela; CH= chima; PACR= Pérdida anual de carbono en raíces (t/ha); PACS= Pérdida anual de carbono en suelo (t/ha); PASpeso= Pérdida anual de suelo en peso (t/ha); PASvolu= Pérdida anual de suelo en volumen (m³/ha); CSC= cantidad de carbono que se está perdiendo al extraer suelo por la extracción de planta con cepellón; CRC= cantidad de carbono que se está perdiendo al extraer raíces por la extracción de planta con cepellón; ver significado de S1-S11 en Cuadro 4.6.

4.5. Conclusiones

Es necesario detener la extracción de cepellón e implementar sólo la venta de follaje, puesto que aunque por año en los sistemas que más se pierde es un máximo de dos toneladas (S8.Azálea-Rodolfo), ello en al menos una década habrá supuesto la pérdida de una proporción importante del horizonte con alto contenido de materia orgánica. De seguir esa tendencia será inminente el

empobrecimiento de los suelos e impensable el implementar cultivos anuales que salvaguarden la seguridad alimentaria de la zona; cuestión preocupante ya que hablamos de zonas indígenas con alto grado de marginación.

También es importante que se recuperen las buenas prácticas de manejo del suelo que se realizaban antaño, tales como chapear y dejar los residuos en el sistema, no usar herramientas o maquinaria, evitar el uso de fertilizantes químicos.

Por último se requiere que se siga trabajando en la implementación de nuevas tecnologías agroforestales, como se ha hecho en dos de los 11 sistemas de ornamentales y que ello es la respuesta a la diversificación de actividades, para tener opciones alimentarias, económicas y sustentables. Hasta ahora la implementación de los sistemas silvopastoril y guayabo han sido los pioneros, aunado a las abejas meliponas. Del trabajo de forestación depende que se logre conservar el relicto de bosque y ello impacte de manera positiva en los manantiales que hay en el área de estudio.

Agradecimientos

La primera autora agradece al CONACyT por ambas becas otorgadas, a la universidad Autónoma Chapingo y a la Universidad de Valladolid Campus Palencia por permitirle desarrollarse en sus aulas, al comité asesor: Dra. María Edna Álvarez Sánchez por su apoyo integral y su guía incondicional durante la investigación, tanto en campo como en gabinete, el tiempo para guiar y mantener el orden en todas las bases de datos y en los avances de tesis, a la Dra. Carolina Martínez Ruiz por su guía eficaz, paciente, práctica y humana durante la escritura del presente artículo, al Dr. Jesús David Gómez Díaz por su asesoría durante la presente investigación tanto en campo como en gabinete, a los doctores, Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez, David Cristóbal Acevedo y Hugo Ramírez Maldonado por su asesoría durante la presente investigación. A los propietarios y medieros de la propiedad de Ocotitla, porque gracias a su ayuda, la investigación se pudo lograr en tiempo y forma.

4.6. Literatura citada

- Álvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas de plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. Tesis de Maestría. CATIE, Turrialba, CR.
- Borja, A., Machuca, R., Fuentes, M., Ayerde, D., Fuentes, M., & Quintero, A. (2010). Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. Poblana Martínez. *Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente*, 16, 261-280.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2013). *Estudio Previo Justificativo para la modificación de la Declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales "Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa" ubicada en los estados de Hidalgo y Puebla*. México: CONANP.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2015). Los datos se obtuvieron de la página: <http://regiongolfodemexico.conanp.gob.mx/rionecaxa.php#.VOa9keaG-vw>. 12 de abril de 2015. 14:20
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2011). *La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. México: CONABIO, Gobierno del Estado de Puebla & BUAP.
- Diario Oficial de la Federación. (2016). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente de 1988. DOF (2016). Consultada en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_130516.pdf
- Etchevers, J. D., Monreal, C. M., Hidalgo, C., Acosta, M., J. Padilla, C., & López, R. M. (2005). *Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas*. México: Colegio de Postgraduados.
- Guisande, C., Vaamonde, A., & Barreiro, A. (2011). *Tratamiento de datos con R, STATISTICA y SPSS*. Madrid: Ediciones Días de Santos.
- Ordóñez Díaz, J. A. B. (1999). *Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*. México: SEMARNAP.
- Ríos S., G. A. (2012). *Cambio climático y gestión de áreas naturales protegidas*. México-GIZ
- Ter Braak, C. J. F., & Šmilauer, P. (2002). *CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canocical Community Ordination (Version 4.5)*. Ithaca, NY: Microcomputer Power.
- Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología. (2001). *Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial de las cuencas hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan*. Texcoco, México: Documento interno.

Williams-Linera, G. (2012). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. México: CONABIO.

5. INFLUENCIA DE LAS PRÁCTICAS PRODUCTIVAS DE ORNAMENTALES SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO EN XALTEPUXTLA, PUEBLA

5.1. Resumen/Abstract

La presente investigación se realizó en el predio Ocotitla localizado en Xaltepuxtla, Puebla. La región se caracteriza por el cultivo de arbustos ornamentales, siendo ésta su principal actividad económica. Dicho cultivo de ornamentales implica la extracción de cepellón, lo cual genera pérdida de suelo y deterioro de las propiedades edáficas. Por ello, el objetivo del presente estudio fue comparar la calidad del suelo de once sistemas productivos de ornamentales y de un relicto de Bosque Mesófilo de Montaña, como indicadores químicos, físicos y biológicos, que permitan conocer el impacto de las prácticas de manejo sobre la calidad del suelo. Los resultados indican que, en general, las propiedades analizadas son mejores en el relicto de Bosque Mesófilo de Montaña y sistemas donde ya se ha comenzado a implementar prácticas agroforestales sostenibles (S1.Guayabo), que en los sistemas productivos donde la extracción de planta con cepellón es más intensa, por la cantidad de planta extraída y por el mayor tamaño del cepellón (S8.Azálea-R.), o bien en aquellos donde la fertilización continuada con gallinaza y fertilizantes sulfatados han incrementado sensiblemente los contenidos de algunos nutrientes en el suelo, como el calcio y el fósforo en el primer caso (S4.Semilleros y S5.Arrayan) y el azufre en el segundo (S2.Silvopastoril). Se concluye que a pesar de la intensa actividad agrícola en la zona los suelos han conservado en gran medida su fertilidad, posiblemente porque los suelos originales (Andosol mólico) son muy fértiles y poseen un primer horizonte muy profundo y rico en materia orgánica. Un seguimiento a más largo plazo sería necesario para detectar cambios negativos significativos en respuesta a las actuales prácticas de manejo o de las nuevas que se vayan implementando.

Palabras clave: Producción de ornamentales, propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, Bosque Mesófilo de Montaña, impacto antrópico.

INFLUENCE OF ORNAMENTALS PRODUCTION PRACTICES ON THE SOIL QUALITY IN XALTEPUXTLA, PUEBLA

Abstract

This research was conducted in the private property Ocotitla located in Xaltepuxtla Ocotitla, Puebla. The region is characterized by the cultivation of ornamental shrubs, being its main economic activity. The crop of ornamental involves the removal of root ball, which leads to soil loss and deterioration of soil properties. Therefore, the objective of this study is to compare the quality of soil in eleven ornamental production systems and a relict of cloud Forest, through chemical, physical and biological indicators, which show the impact of management practices over the soil quality. The results, indicate that, the analyzed properties are better in the relict of cloud forest and systems which already have begun to implement sustainable agroforestry practices (S1.Guayabo), than in production systems where the extraction of the root ball plant is more intense; because of the amount of the extracted plant and the larger size of the root ball (S8.Azálea-R.), or in those where continued fertilization with chicken manure and fertilizers sulfated have significantly increased the contents of some nutrients in the soil, such as calcium and phosphorus in the first case (S4.Semilleros and S5.Arrayan) and sulfur in the second (S2.Silvopastoril). It is concluded that despite the intense agricultural activity in the area, soils have largely retained their fertility, possibly because the original soil (Andosol mollic) is very fertile and it has a very deep and rich first horizon, which is full of organic matter. It is necessary to give continuity in a long-term period, to detect significantly negative changes in response to current management practices or new ones that can be implemented.

Key words: Ornamental plants, physical, chemical and biological soil properties, mountain cloud forest, atrophic impact.

5.2. Introducción

El 94% del territorio mexicano presenta condiciones de alta o muy alta fragilidad natural (Universidad Autónoma Chapingo e Instituto Nacional de Ecología, 2001), como resultado de un uso intenso e irracional por parte del hombre de los cuantiosos recursos naturales que alberga. La deforestación masiva, asociada al uso antrópico del territorio, ha provocado un progresivo deterioro del suelo, alteración climática y una importante pérdida de diversidad biológica que, a su vez, han afectado negativamente a la calidad de vida de la población y han puesto en riesgo la sostenibilidad ambiental.

Algunos ecosistemas se han visto más afectados que otros (Bosque Templado, Selvas Tropicales y Bosque Mesófilo de Montaña) por la explotación humana, y hay áreas que han necesitado protección específica, tal es el caso de las denominadas regiones terrestres prioritarias dentro de las cuales se encuentran las Áreas Naturales Protegidas. Una de ellas corresponde a la Cuenca Hidrográfica del río Necaxa, enclavada en la Sierra Norte de Puebla, donde se ubica el área a estudiar (propiedad de Ocotitla en Xaltepuxtlá). Esta área fue declarada Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Necaxa en 1938, puesto que era uno de los sitios más importantes generadores de energía hidroeléctrica del país (3% de la energía hidroeléctrica del país; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2011). Al no resultar suficientemente efectiva, dicha figura de protección, para garantizar la conservación de los recursos naturales (producción de madera, revegetación y conservación de la diversidad biológica) y la recarga de los mantos acuíferos en dicha cuenca, tuvo que ser recategorizada en 2002 como Área de Protección de Recursos Naturales Protectora Forestal Vedada (Ríos, 2012).

Una de las actividades económicas que más ha contribuido al deterioro ambiental en la comunidad de Xaltepuxtlá es la producción de plantas de ornato; actividad que responde al mercado que surgió en la década de los noventa en Tenango de las Flores. Esta actividad conlleva la pérdida de grandes cantidades de suelo al extraer planta de ornato con cepellón y suelo

para ser vendido como sustrato, y ha deteriorado ecosistemas naturales, como la Selva Alta Perennifolia (400-800 msnm) que alberga importantes géneros de lauráceas y abarca desde la Barranca de Patla a las cercanías de los poblados de Necaxa y Nuevo Necaxa. A partir de ahí, se encuentra una asociación de Selva y Bosque Mesófilo de Montaña, en el que predominan *Liquidambar* sp., y helechos arborescentes del género *Cyathea* sp. Entre los 1500 y 2300 m s.n.m. la asociación es de Bosque Mesófilo de Montaña con Bosque de Pino-Encino, y se ubica en los alrededores del municipio de Huachinango. Finalmente se encuentra el bosque de pino a una altura de 2400-2800 msnm, abarcando los límites de las entidades federativas de Puebla e Hidalgo (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2013). Dichos ecosistemas están siendo deforestados de manera indiscriminada y la producción de ornamentales implica prácticas de manejo que van deteriorando la calidad del suelo.

El APNR “ZPFV Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa” se encuentra en la región terrestre prioritaria, llamada Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental, y cuenta con una superficie de 3,935 km² (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2013). Los resultados del estudio realizado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en coordinación con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), para estimar la tasa de transformación del hábitat en dicho espacio protegido (Ríos, 2012), indican que el Bosque Mesófilo de Montaña perdió 386 ha, principalmente por pastizal (261 ha) y áreas agrícolas (112 ha), el resto se le atribuye a la creación de infraestructuras y áreas impactadas por deslaves. El Bosque de Pino con vegetación secundaria, ganó 85 ha, primordialmente hacia las áreas agrícolas; mientras que el Bosque de Pino-Encino con vegetación secundaria, perdió 234 ha con pastizal, pero ganó 55 ha a las áreas agrícolas. En total, se perdieron 566 ha forestales en el periodo 1985-2010, que en promedio serían 23 ha por año (Ríos, 2012). Estos cambios en los usos del suelo están afectando no sólo a la pérdida de suelo como tal sino también a su calidad.

Definir la calidad del suelo *per se* es algo abstracto, dado que está íntimamente ligada con el uso del suelo, las prácticas de manejo, las interacciones ecosistémicas, las necesidades económicas y las prioridades políticas (Doran & Safley, 1997). Por ende al evaluar las propiedades químicas, físicas y biológicas se tiene una parte importante, no obstante, el análisis integral conlleva un esfuerzo mayor, dado que se deben tomar en cuenta los demás factores.

La calidad del suelo es definida como “*la capacidad continua del suelo para funcionar como un sistema vivo dentro de un ecosistema, sostener la productividad biológica, promover la calidad del aire, agua y mantener la salud vegetal, animal y humana*” (Doran & Parkin, 1994).

Evaluar la calidad del suelo es de gran valor dado que permite determinar su sostenibilidad y la efectividad de su manejo. Larson y Pierce (1991) proponen parámetros y una metodología estandarizada para dicha evaluación. Para lo cual, Acton y Padbury (1993) definen atributos medibles (propiedades físicas, químicas y biológicas), los cuales son criterios útiles para definir la calidad del suelo y funcionan como indicadores que muestran los cambios en dicha calidad (Doran & Safley, 1997).

De acuerdo con lo anterior, se plantea este estudio cuyo objetivo es comparar la calidad del suelo de los diferentes sistemas productivos de la propiedad de Ocotitla, en Xaltepuxtlá (Puebla), a través de indicadores químicos, físicos y biológicos, para poder valorar el impacto de las prácticas de manejo sobre dichos indicadores. Con ello se pretende proponer mejoras en las prácticas de manejo, así como actividades productivas sostenibles en la región que sean compatibles con la conservación de la biodiversidad del Bósque Mesófilo de Montaña donde todavía persiste.

5.3. Materiales y Métodos

5.3.1. Localización de la zona de estudio

La investigación se realizó en la propiedad de Ocotitla (40 ha), en la comunidad de Xaltepuxtla, la cual pertenece al municipio de Tlaola en el estado de Puebla (Figura 5.1). Dicho municipio pertenece al APRN Necaxa, recategorizada en 2002 como APRN “Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa” (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2015).

Dicha zona se localiza entre las coordenadas extremas 97°58'5.303" longitud oeste 20°11'23.06" latitud norte y 97°57'30.836" longitud oeste 20°10'57.124" latitud norte, a una elevación de 1280 m s.n.m. Está asentada sobre un sustrato geológico compuesto por roca sedimentaria: caliza (35%), caliza-lutita (22%) y limolita-arenisca (11%) e ígnea extrusiva: toba ácida (24%) y basalto (3%) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2009). El tipo de suelo predominante es Andosol mólico (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2013).

El clima corresponde a un (A)Cb(fm)(i')gw", el cual se define como semi cálido del grupo de los templados húmedos con verano fresco largo; corresponde al más húmedo de los húmedos con régimen de lluvias intermedio y un porcentaje de precipitación invernal menor de 18; con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales; marcha anual de la temperatura tipo Ganges y presencia de canícula. La temperatura media anual de 18.45°C y la precipitación media anual de 1524.66mm (ver capítulo 3 de esta Memoria de Tesis).

La vegetación dominante es el Bosque Mesófilo de Montaña, el cual se caracteriza por la abundancia de helechos, una gran cantidad de epífitas y, sobre todo, por las lluvias frecuentes, nubosidad, neblina y humedad atmosférica alta durante todo el año (Williams-Linera, 2012). Actualmente este ecosistema está siendo degradado por la expansión del cultivo de ornamentales.

En la propiedad de Ocotitla, se identificaron once sistemas productivos de ornamentales y un relicto de Boque Mesófilo de Montaña (Figura 5.1; tomada del capítulo 3 de esta Memoria de Tesis); los sistemas productivos están ocupados por cultivos de chima (*Chamaesiparis lawsoniana*), arrayán (*Buxus sempervirens*), azálea (*Rhododendrom indicum*) y cedrela (*Juniperus* sp.), ya sea con sólo una especie o combinados entre sí, en el cuadro 5.1 se enlistan las especies que componen cada sistema.

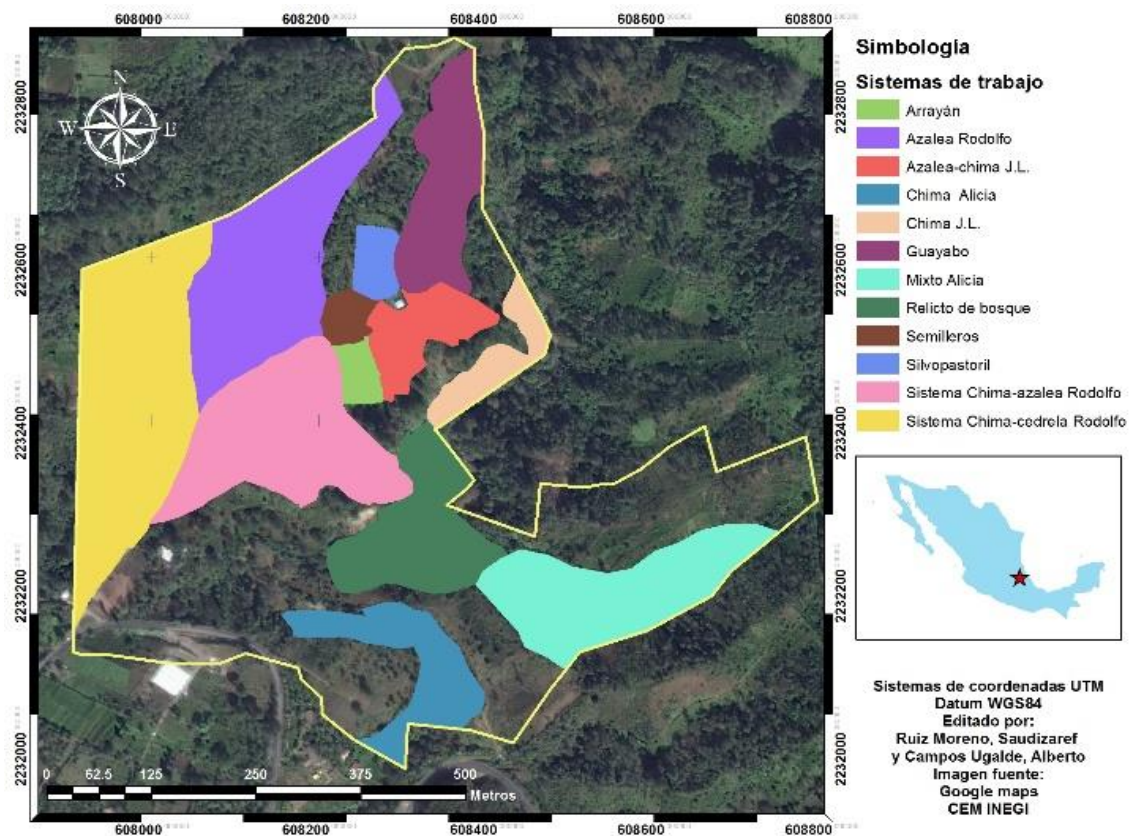


Figura 5.1. Mapa de los sistemas productivos de ornamentales y relicto de BMM. Fuente: Figura 3.6 de esta memoria de tesis.

Cuadro 5.1. Características de los sistemas de cultivo de ornamentales y del relicto de Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) de la propiedad de Ocotitla, en Xaltepuxtlá, Puebla.

Sistemas	Observaciones
1.Guayabo	Sistema mixto de azálea (<i>Rhododendrom indicum</i>) y chima (<i>Chamaesiparis lawsoniana</i>) en el que recientemente se ha plantado Guayabo (<i>Psidium guajava</i>), El sistema tiene una pendiente de 2-15%.
2.Silvopastoril	Cultivo de chima para follaje y de forrajeras para ganado ovino; no hay extracción de suelo, tiene una pendiente de 2-15%. El sistema se ha mejorado con: sulfato ferroso, sulfato de manganeso, sulfato de zinc, sulfato de cobre, leonardita, urea, fosfato de amonio, sulfato de magnesio y cloruro de potasio
3.Azálea-chima-J.L.	Cultivo de azálea y chima con una pendiente de 8-15%
4.Semilleros	Área con una pendiente de 0-8%, donde se dejan los ornamentales extraídos de otras zonas hasta decidir qué hacer con ellos
5.Arrayán	Especie que se extrae a raíz desnuda, el sistema se encuentra en una zona donde las pendientes van de 8-15%. Se utiliza gallinaza como enmienda
6.Chima-J.L.	Pendientes de >15%, suelos erosionados y pedregosos. No se extrae chima en la actualidad.
7.Azálea chima-R.	Sistemas que presentan extracción de planta con cepellón, y se vende tierra como sustrato, por tanto mayor pérdida de suelo. También se utiliza el azadón para limpiar herbáceas y no se dejan los residuos de las plantas cortadas, dicho sistema se encuentra en superficies que tienen una pendiente de 2-40%.
8.Azálea-R.	
9.CH-CE-R.	
10.Mixto-A.	Incluye cedrela, chima, azálea y camelia. Suelos erosionados, se usa azadón para mover la tierra y las pendientes son >15%.
11.Chima-A.	Pendientes > 40%, suelos erosionados, se usa azadón para mover la tierra. No se extrae chima en la actualidad
12.BMM	Relicto de BMM invadido por cultivos de chima que se han dejado, se busca conservarlo lo mejor posible, las pendientes de este sistema son >40%.

z. J.L.= propiedad de José Luis; R.= propiedad de Rodolfo; A= propiedad de Alicia; Mixto= sistema con cedrela, chima, azálea y arrayán; CH-CE= chima y cedrela

5.3.2. Determinación de la conductividad hidráulica

Para determinar la conductividad hidráulica se utilizó el método del pozo barrenado, el cual ha tenido aceptaciones para mediciones de conductividad hidráulica por debajo del nivel freático. Es un método muy sencillo, pero que implica un esfuerzo considerable en campo (Forero, 2000).

En el mes de octubre de 2015, se seleccionaron aleatoriamente 3 puntos por sistema, tomando en cuenta la pendiente del terreno. En cada uno de ellos se perforó a una profundidad de 110 cm con ayuda de una barrena Veihmeyer, y se tomó la lectura de la velocidad con que se movía el agua dentro del sistema. Con esos tres datos se pretendía calcular el valor medio de la conductividad hidráulica en cada sistema. Pero es necesario aclarar que en los sitios donde el espejo se encontró dentro de los primeros 40 cm, la lectura se realizó sin mayor problema, no obstante en aquellos donde el espejo estaba más allá de los 60 cm, sólo se registró el dato de la profundidad donde aparecía el agua, puesto que no se disponía del equipo necesario para determinar dicho indicador a mayores profundidades. Por lo tanto la lectura de la velocidad con que se movía el agua sólo se pudo tomar en campo para tres de los 12 sistemas (Semilleros, Mixto-Alicia y Arrayán).

Determinación de la estabilidad de agregados, densidad aparente, respiración microbiana y carbono orgánico en suelo, hojarasca y mantillo.

5.3.3. Determinación de la estabilidad de agregados, densidad aparente, respiración microbiana y carbono orgánico en suelo, hojarasca y mantillo.

En cada sistema productivo de ornamentales y en el relicto de Bosque Mesófilo de Montaña se establecieron 3 parcelas con un radio de 3 m (28.27m^2) (Figura 5.2), de acuerdo con la metodología de muestreo propuesta por Etchevers et al. (2005).

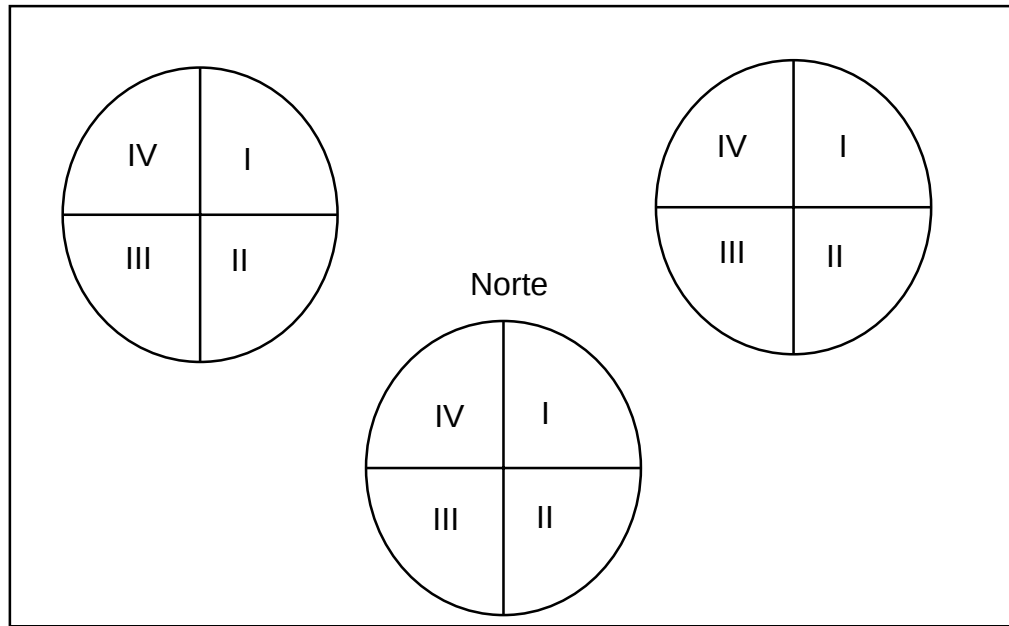


Figura 5.2. Esquema del sistema de muestreo de suelo, basando en la metodología de Etchevers et al. (2005), llevado a cabo en los 12 sistemas.

Dichos círculos (parcelas) se dividieron en cuatro cuadrantes que se enumeraron conforme a las manecillas del reloj, tomando el noreste como primer cuadrante, el sureste como segundo y así sucesivamente, y cada cuadrante se utilizó para obtener muestras de distintos materiales edáficos (Figura 5.3).

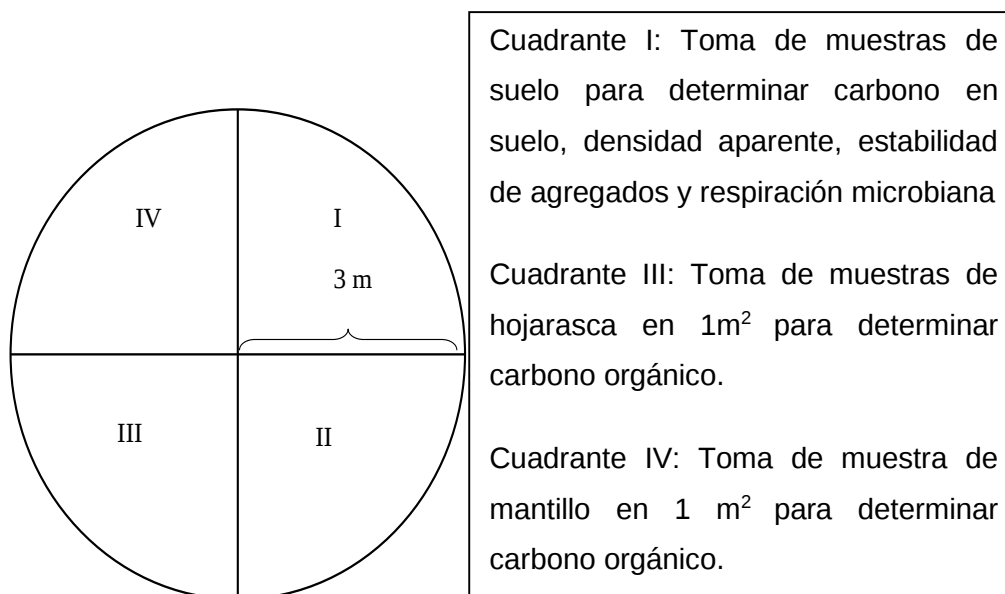


Figura 5.3. Detalle de los parámetros edáficos muestreados en cada cuadrante de una parcela de muestreo (círculo).

El cuadrante I de cada círculo se utilizó para la toma de tres muestras inalteradas de suelo en profundidad, cada una de 15 cm de espesor (i.e. 0-15, 15-30 y 30-45 cm). Para ello se eliminó previamente la vegetación y el mantillo, de la pequeña área donde iba a realizar el agujero. Se procedió a extraer las muestras inalteradas de suelo con ayuda de una barrena de 5 cm de diámetro que se introducía en el suelo hasta la máxima profundidad deseada (45 cm). Una vez fuera, se abría la barrena y con ayuda de una espátula se separaba la muestra de suelo, la cual se guardaban en bolsas previamente etiquetadas, para su posterior análisis en laboratorio; cabe destacar que las tres réplicas de un mismo círculo iban en bolsas separas, ya que cada una representaba una muestra. Para cada muestra se determinó: estabilidad de agregados, carbono orgánico de suelo, densidad aparente y respiración microbiana.

En el cuadrante III de cada círculo se tomó la muestra de hojarasca, en una superficie de 1 m^2 elegida al azar, cortando con tijeras todo el material vegetal a ras del suelo, sin considerar raíces. El material se colocó en bolsas de papel previamente etiquetadas para su posterior análisis en laboratorio, el cual consistió en la determinación de carbono orgánico.

En el cuadrante IV se tomó la muestra de mantillo, en una superficie de 1 m² elegida al azar, previamente se limpió y quito perfectamente la hojarasca, para proceder a tomar todo el material cuidando de no tomar suelo. También se colocó en bolsas de papel previamente etiquetadas para el posterior análisis en laboratorio de su contenido de carbono orgánico.

5.3.4. Determinación de textura y nutrientes

Para la determinación de textura y nutrientes se tomó una única muestra compuesta por sistema. Para ello se realizaron numerosas extracciones, siguiendo una línea en zigzag que recorría toda la superficie, con ayuda de una barrena billmeyer de 1.8 cm de diámetro hasta una profundidad de 30 cm. Las submuestras se iban mezclando en la misma bolsa. El material recogido por cada sistema se disgregó a mano y se extendió para su secado al aire, posteriormente se pasó por tamiz de 2 mm, se homogeneizó y tomó una única muestra para textura y tres para realizar las siguientes determinaciones: pH (agua, relación 1:2), conductividad eléctrica (CE, relación 1:5), capacidad de intercambio catiónico (CIC, con CH₃COONH₄ 1 N pH 7), cationes de cambio (Mg, K y Ca), N total (Kjeldahl), S disponible (extraído con 0.05M NH₄OAc + 0.25M ácido acético), P disponible Olsen, Zn, Fe, Mn, Cu (extraídos con DTPA) y B (extraído con CaCl₂ 0.1 M).

5.3.5. Análisis físicos, químicos y biológico del suelo

Para conocer estabilidad de agregados al suelo se le hizo pasar por un tamiz de 1 mm, del material que quedó en dicho tamiz se tomaron 10 g y se aplicó el método del tren de tamices, ligeramente modificado (Forsythe, 1980), ver anexo 5.7.1. La textura (porcentajes de arena, arcilla y limo) se determinó en laboratorio por el método de Bouyoucos-Day (Rodríguez, 1992), ver anexo 5.7.2, sobre el suelo secado al aire y tamizado (≤ 2 mm). Se siguió la clasificación textural americana (USDA).

La estimación del porcentaje de carbono orgánico en suelo, mantillo y hojarasca se realizó mediante combustión seca en un analizador de carbono Shimadzu TOC 5000-A. Para ello el material se preparó siguiendo la metodología

propuesta por Etchevers et al. (2005), tras secado en estufa (a 75 °C el material vegetal y a 105 °C el suelo) hasta peso constante (unas 72 h). Se utilizó una balanza analítica (con una precisión de 0.0001g) para pesar las muestras que se analizaron. Para suelo, si era oscuro, se pesaban aproximadamente 0.08 g de muestra, no obstante hubo suelos para los que por presentar un color mucho más claro se necesitaron 0.207 g de muestra. La cantidad de carbono en toneladas por ha se calculó con la siguiente expresión:

$C(t/ha) = \% \text{ de carbono} \times \text{profundidad de la muestra} \times \text{densidad de la muestra}.$

Para determinar la densidad aparente a las muestras de suelo colectadas en el cuadrante I se les retiró raíces y piedras que se podían ver a simple vista y se pesaron por separado. Al peso total de la muestra de suelo se le restó el peso de las raíces y piedras, así mismo se calculó el volumen total muestreado y el volumen de raíces y piedras. El volumen total muestreado se estimó con base en los cilindros que fueron colectados en campo. Para calcular el volumen de piedras y raíces se utilizaron los valores de densidad aparente de 2.65 g/cm³ y 0.7 g/cm³ respectivamente.

La fórmula que se utilizó fue la siguiente (Etchevers et al, 2005):

$$Da = \frac{\text{peso seco del suelo} - (\text{peso de raíces} + \text{piedras} + \text{residuos})}{\text{Volumen del cilindro de muestreo} - (\text{volumen de raíces} + \text{Volumen de piedras} + \text{volumen de residuos})}$$

Los análisis de nutrientes, pH, CE y CIC se realizaron siguiendo lo establecido por la NOM-021-SEMARNAT-2000 y las técnicas del manual de los procedimientos analíticos de suelo y planta (Álvarez-Sánchez y Marín Campos, 2015). La respiración microbiana se determinó con base en la metodología descrita por García, Hernández & Trasar (2003), que consiste en estimar la respiración del suelo al cabo de un tiempo por la medida del CO₂ liberado por la muestra incubada, atrapándolo en una disolución de álcali (NaOH). Esta es una adaptación de varios métodos diferentes existentes en la bibliografía, con igual

fundamento y pequeñas variaciones (Isermeyer, 1952; Läggi, 1976; Aoyama y Nagumo, 1997).

5.3.6. Tratamiento estadístico

En primer lugar, se comprobó si los datos de las variables físicas, químicas y biológicas del suelo cumplían o no las asunciones de normalidad y homocedasticidad, necesarias para hacer uso de la estadística paramétrica (Guisande & Barreiro, 2011); para ello, se usaron los test de Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente. En caso de que los datos cumplieran las asunciones de normalidad se aplicó el análisis de la varianza (ANOVA) y en caso contrario el análisis de Kruskal-Wallis. Tras encontrar diferencias estadísticamente significativas, se aplicaron los contrastes a posteriori correspondientes: el test de Tuckey tras el ANOVA y el test U de Mann-Whitney, corregido mediante el ajuste de Bonferroni, tras el análisis de Kruskal-Wallis, para comprobar entre qué pares de comparaciones se encontraban las diferencias ($p < 0.05$).

También, se realizaron análisis de componentes principales (ACP) para ordenar los sistemas productivos en función de las propiedades químicas del suelo, con el fin de sintetizar las tendencias observadas en los análisis anteriores.

Tanto la comprobación de las asunciones de normalidad y homocedasticidad, como los análisis de Kruskal-Wallis y el ANOVA se llevaron a cabo haciendo uso del programa STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Los ACPs fueron realizados con el programa CANOCO 4.5 (Ter Braak & Šmilauer, 2002).

5.4. Resultados y Discusión

5.4.1. Propiedades físicas

Los resultados muestran que los suelos de los 12 sistemas tienen textura franca, bien limosa o arenosa en la mayoría de los casos (Cuadro 5.2), a pesar de la actividad productiva. Estos suelos se corresponden con los derivados de cenizas volcánicas, en su mayor parte sueltos y esponjosos, de textura franca y arenas migajosas, que tienen un alto contenido de vidrio volcánico y están limitados por rocas ígneas. Generalmente son suelos ácidos con un contenido

de nutrientes bajo, no obstante la fertilidad es alta debido al elevado contenido en materia orgánica. Estos suelos tienen presencia de minerales amorfos (alófanos), que les confieren un alto potencial para retener humedad. Por ello, los suelos tipo andosoles son capaces de contener hasta 150% más agua que su peso, aunque una vez alterados pierden esa capacidad de retener agua (Williams-Linera, 2012). Además la textura les confiere enormes ventajas. Los suelos Francos y limosos tienen un desarrollo productivo óptimo, siendo capaces de retener cantidades adecuadas de agua y nutrientes que aseguran un adecuado crecimiento vegetal. Los franco arenosos, son suelos con buena aireación y permeabilidad, son capaces de soportar grandes pesos con escasa compactación. En contraposición las deficiencias que pueden presentar son su menor poder de retención de agua y su deficiente capacidad de almacenamiento de nutrientes, no obstante, esta peculiaridad en los suelos tipo Andosoles, como los existentes en la zona de estudio se encuentra resarcida con el alto contenido de materia orgánica, existente en el horizonte superficial muy profundo que caracteriza a estos suelos, presentando también una alta capacidad de retención de la humedad. Sin embargo es aquí donde vemos el impacto de la actividad antrópica, porque al ir cambiando la vegetación el suelo no tiene la capacidad de amortiguamiento del agua, lo cual hace que se sature y se desgaje cuando las lluvias aumentan (Thompson & Thoe, 1988).

Cuadro 5.2. Propiedades físicas: textura, estabilidad de agregados (%) y conductividad hidráulica (m/día) de los suelos en los 12 sistemas de la propiedad Ocotitla, Xaltepuxtla, Puebla.

Sistema	Textura	Estabilidad de agregados	Conductividad Hidráulica
1.Guayabo	Franco arenoso	82.16±0.38	Muy lenta
2.Silvopastoril	Franco arenoso	81.67±1.60	Muy lenta
3.Azálea-chima-J.L.	Franco limoso	81.26±0.38	Muy lenta
4.Semilleros	Franco arenoso	86.64±0.81	Muy rápida
5.Arrayán	Franco	79.06±2.97	Rápida
6.Chima-J.L.	Franco limoso	83.92±0.35	Muy lenta
7.Azálea-chima-R.	Franco arenoso	74.89±4.73	Muy lenta
8.Azálea-R.	Franco arenoso	81.94±1.83	Muy lenta
9.CH-CE-R.	Franco limoso	81.72±5.28	Muy lenta
10.Mixto-A.	Franco limoso	74.33±4.13	Muy lenta
11.Chima-A.	Franco limoso	80.61±2.31	Muy rápida
12BMM	Franco limoso	82.62±0.94	Muy lenta

^Z. Para estabilidad de agregados se indica el valor medio y error estándar (n=3), considerando como réplicas por sistema la media de dicho parámetro en las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) tomadas por círculo (parcela de muestreo).

^Y. J.L.= propiedad de José Luis; R.= propiedad de Rodolfo; A= propiedad de Alicia

La conductividad hidráulica presenta un régimen saturado en los sistemas S4 (semilleros), S5 (arrayán) y S11 (Chima-A.) en los cuales el movimiento de agua dio lecturas rápidas (de acuerdo con la clasificación de la U.S. Soil Conservation Service); los otros 9 sistemas tienen un régimen no saturado lo que hace que el movimiento del agua de lecturas muy lentas. En este régimen el volumen de los poros está sólo parcialmente lleno de agua. Cabe destacar que es en las zonas no saturadas donde la conductividad hidráulica además de variar de un suelo a otro, lo hace dentro del mismo en función del contenido de agua (Porta, López-Acevedo & Roquero, 1994). Los suelos en los que el movimiento del agua es tan rápido, son aquellos en que los sistemas productivos se encuentran en zonas de valle y cercanas a manantiales. La conductividad hidráulica no está vinculada directamente con el manejo. No obstante, aquellas zonas con conductividad hidráulica muy alta, como el caso particular del sistema catalogado semilleros, el cual no se cultivada y sólo se utiliza para dejar descansar los arbustos de ornamentales, dado que se anega y lo que se planta tiende a podrirse. Esto ha ayudado a disminuir la actividad antrópica en el sistema. Por lo cual, las especies de vegetación nativa de sucesión secundaria encuentran en este sistema un nicho favorable para crecer.

En cuanto a la estabilidad de agregados, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre sistemas, cuando se considera un único valor por círculo de muestreo, calculado como media de los datos de las tres profundidades ($H_{[11, n=36]} = 15.77$, $p=0.1499$). Los valores medios en ese caso oscilan entre 74.33 y 86.64 % (Cuadro 5.2) y pueden considerarse altos (Cabria, Calandroni & Monterrubianesi, 2002).

Los datos se han analizado de este modo puesto que no se ha encontrado influencia significativa de la profundidad en el porcentaje de estabilidad de agregados, cuando se considera un único valor por profundidad, calculado como media de los datos de los tres círculos ($H_{[2, n=36]} = 5.216$, $p=0.0738$). No obstante, parece que la estabilidad de agregados siempre es menor en los

primeros 15 cm del suelo (Cuadro 5.3), aunque para ninguna profundidad se encuentran diferencias significativas entre sistemas (0-15 cm: $H_{[11, n=36]} = 11.91$, $p=0.3702$; 15-30 cm: $H_{[11, n=36]} = 16.34$, $p=0.1290$; 30-45 cm: $H_{[11, n=36]} = 15.04$, $p=0.1809$).

Cuadro 5.3. Estabilidad de agregados según la profundidad en los 12 sistemas. Valor medio y error estándar de los datos correspondientes a los 3 círculos por profundidad y sistema.

Sistemas	EA 15	EA 30	EA45
1. Guayabo	81.44±0.62	81.88±0.44	83.15±1.55
2. Silvopastoril	78.21±2.00	83.10±1.90	83.70±1.58
3. Azálea-chima-J.L.	79.66±0.78	82.07±0.27	82.05±0.68
4. Semilleros	85.52±1.05	87.54±1.70	86.85±0.77
5. Arrayán	77.83±4.32	81.13±3.90	78.23±2.29
6. Chima-J.L.	77.83±4.32	81.13±3.90	78.23±2.29
7. Azálea-chima-R.	82.64±3.34	86.77±1.90	82.35±2.07
8. Azálea-R.	73.91±6.29	79.91±3.27	70.85±5.34
9. CH-CE-R.	80.73±1.30	82.79±1.07	82.31±3.39
10. Mixto-A.	77.59±9.53	81.86±4.60	85.70±2.02
11. Chima-A.	70.31±5.07	72.78±4.88	79.90±2.65
12. BMM	77.94±3.60	83.72±2.56	80.16±7.60

^Z. J.L.= propiedad de José Luis; R.= propiedad de Rodolfo; A= propiedad de Alicia

Al igual que la textura, la estabilidad de agregados se ha mantenido bastante homogénea a pesar de la actividad agrícola. Tal vez ha ayudado a ello el hecho de que no se use maquinaria, primero por el tipo de cultivos y segundo porque la topografía pronunciada del terreno tampoco lo permite, además de que hay sistemas donde si se deja la cubierta de las podas.

5.4.2. Propiedades químicas relacionadas con la fertilidad

Se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre sistemas para todas las variables químicas analizadas relativas a la fertilidad del suelo (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4. Resultados de los análisis estadísticos realizados para evaluar la influencia del sistema de producción en las diferentes variables químicas de fertilidad del suelo analizadas.

Variable química	Estadístico	Valor de P
Mg	$H_{[11, n=36]} = 33.78$	0.0003
K	$H_{[11, n=36]} = 33.96$	0.0004
Ca	$H_{[11, n=36]} = 34.59$	0.0003
N	$H_{[11, n=36]} = 25.24$	0.0084
S	$F_{[11, 24]} = 445.29$	<0.0001
P	$H_{[11, n=36]} = 29.48$	0.0019
Ph	$H_{[11, n=36]} = 34.77$	0.0003
CE	$F_{[11, 24]} = 266.33$	<0.0001
CIC	$H_{[11, n=36]} = 34.46$	0.0003
Cu	$H_{[11, n=36]} = 31.85$	0.0008
Fe	$H_{[11, n=36]} = 32.19$	0.0007
Mn	$H_{[11, n=36]} = 34.16$	0.0003
Zn	$H_{[11, n=36]} = 34.29$	0.0003
B	$H_{[11, n=36]} = 30.74$	0.0012

En cuanto a los micronutrientes, aunque el contenido en Fe oscila entre 14.34 ppm en el sistema 8 (Azálea-R.) y 98.68 ppm en el sistema 6 (Chima-J.L.), todos los valores registrados se consideran adecuados (Cuadro 5.5), de acuerdo con la clasificación de Álvarez y Etchevers (2011). Sin embargo, los suelos de la mayoría de los sistemas resultan deficitarios en Mn, a excepción de los sistemas 4 (Semilleros), 5 (Arrayán) y 9 (CH-CE-Rodolfo) que muestran valores aceptables. También la mayoría de los sistemas muestran deficiencias en Cu o valores marginales, excepto el Bosque Mesófilo de Montaña (S.12) que

muestra un valor medio. La mayoría de los sistemas presentan suelos deficitarios en Zn o con valores marginales, mientras que los sistemas 4 (Semilleros), 5 (Arrayán) y S.12 (Bosque Mesófilo de Montaña) muestran valores de Zn altos. Finalmente, el contenido en boro de los suelos oscila entre valores bajos en los sistemas 5 (Arrayán), 9 (CH-CE-Rodolfo) y 11 (Chima-Alicia), y muy altos en los sistemas 6 (Chima-J.L.) y 12 (Bosque Mesófilo de Montaña), siendo medios en el resto de sistemas.

Cuadro 5.5. Valor medio (ppm) y error estándar (n=3) de los micronutrientes analizados en los doce sistemas estudiados (S).

S	Zn		Fe		Mn		Cu		B	
1	0.38±0.06 ab ^z	D ^y	20.68±1.24 ab	A	0.48±0.02 ab	D	0.03±0.01 ab	D	1.11±0.11 ab	M
2	0.56±0.01 ab	M a	23.64±0.80 ab	A	0.59±0.02 ab	D	0.04±0.01 ab	D	1.22±0.04 ab	M
3	0.07±0.02 ab	D	15.33±0.41 ab	A	0.14±0.01 a	D	0.07±0 ab	D	0.97±0.03 ab	M
4	3.05±0.09 a	A	66.47±1.58 ab	A	3.57±0.08 b	A	0.50±0.01 a	M a	1.06±0.05 ab	M
5	1.98±0.05 ab	A	33.68±2.32 ab	A	2.05±0.03 ab	A	0.07±0.01 ab	D	0.79±0.04 a	B
6	0.48±0.01 ab	M a	98.68±10.37 a	A	0.21±0.04 ab	D	0.29±0.01 ab	M a	3.83±0.06 b	M A
7	0.07±0.01 b	M a	19.10±2.37 ab	A	0.27±0.02 ab	D	0.07±0 ab	D	0.90±0.06 ab	M
8	0±0 b	D	14.34±0.16 b	A	0.14±0.01 a	D	0.07±0 ab	D	1.20±0.05 ab	M
9	0.62±0.01 ab	M a	24.97±0.84 ab	A	1.42±0.01 ab	A	0.07±0.01 ab	D	0.77±0.05 a	B
10	0.17±0.01 ab	D	16.60±2.88 ab	A	0.17±0.01 ab	D	0.01±0 b	D	1.09±0.12 ab	M
11	0.14±0.03 ab	D	19.76±0.35 ab	A	0.14±0.01 a	D	0.04±0 ab	D	0.76±0.04 a	B
12	1.50±0.05 ab	A	69.22±1.95 ab	A	0.44±0.01 ab	D	0.53±0.03 a	M	2.23±0.15 ab	M A

^z. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.

^y. Las letras mayúsculas informan del significado de los valores obtenidos de acuerdo con la clasificación de calidad del suelo de Álvarez y Etchevers (2011): A=adecuado, Ma=marginal, D=deficiente; M.A.=muy alto, M=Medio, B= Bajo

Respecto a los macronutrientes (Cuadro 5.6), el contenido de azufre oscila entre 10.42 ppm en el sistema 4 (Semilleros) y 155 ppm en el sistema 10 (Mixto-Alicia), pero todos los valores registrados se consideran altos, de acuerdo con la clasificación de Álvarez y Etchevers (2011). Los niveles de calcio son siempre muy bajos, excepto en los sistemas 4 (Semilleros) y 5 (Arrayán) en los que tradicionalmente se fertilizó con gallinaza (Thompson & Frederick, 1988). Los valores de fósforo son bajos en los sistemas 2 (Silvopastoril), 3 (Azálea-chima-J.L.), 6 (Chima J.L.), 7 (Azálea-chima-R.), 8 (Azálea-R.) y 11 (Chima-A.), oscilando entre 0.72- 5.25 ppm; medios en los sistemas 1 (Guayabo), 9 (Ch-CE- R.), 10 (Mixto-A.) y 12 (BMM) los cuales se encuentran entre 7.01-7.97 ppm y altos (13.33-21.56 ppm) en los sistemas 4 (Semilleros) y 5 (Arrayán), posiblemente también por la fertilización continuada con gallinaza (Thompson & Thoe, 1988).

Los valores de nitrógeno se consideran medios en la mayoría de los sistemas, pero son altos en los sistemas 4 (Semilleros) y 5 (Arrayán), y muy alto en el sistema 1 (Guayabo). Finalmente, los valores de Mg son muy bajos en general, excepto en los sistemas 4 (Semilleros) y 5 (Arrayán), donde son medios.

Cuadro 5.6. Valor medio y error estándar (n=3) de los macronutrientes analizados en los doce sistemas estudiados (S).

S	N (ppm)		Mg (meq/100g)		K (meq/100g)		Ca (meq/100g)		P (ppm)		S (ppm)	
1	70±0 a	MA	0.14±0.00 ab	MB	0.33±0.01 ab	M	0.59±0.05 ab	MB	7.01±0.31 ab	M	97.22±3.52 a	A
2	35±0 ab	M	0.34±0.02 ab	MB	0.28±0.01 ab	B	1.90±0.12 ab	MB	0.72±0.02 a	B	150.28±0.91 b	A
3	35±0 ab	M	0.04±0 ab	MB	0.11±0.01 ab	B	0.02±0 a	MB	3.44±0.65 ab	B	125.42±2.46 c	A
4	58.33±11.67 ab	A	1.22±0.01 a	M	0.67±0.01 a	M	12.24±0.09 b	MA	13.22±0.72 b	A	10.42±1.80 d	A
5	46.67±12.35 ab	A	1.19±0.02 a	M	0.48±0.02 ac	M	8.85±0.26 ab	A	21.56±1.45 b	A	25.28±2.88 e	A
6	32.67±2.33 ab	M	0.04±0.01 ab	MB	0.13±0.02 ab	MB	0.04±0.02 ac	MB	4.17±1.45 ab	B	48.26±3.63 f	A
7	30.33±2.33 ab	M	0.09±0.01 ab	MB	0.11±0.01 ab	MB	0.50±0.02 ab	MB	5.25±0.48 ab	B	83.19±1.32 g	A
8	37.33±2.33 ab	M	0.05±0 ab	MB	0.08±0 bc	MB	0.34±0.02 ab	MB	5.25±0.36 ab	B	92.64±2.90 ag	A
9	28±4.04 ab	M	0.30±0 ab	MB	0.26±0.01 ab	B	10.04±0.26 bc	MB	7.97±2.27 ab	M	27.99±1.75 e	A
10	21±0 b	M	0.04±0 ab	MB	0.08±0 bc	B	0.92±0.04 ab	MB	7.43±1.01 ab	M	155±1.54 b	A
11	25.67±2.33 ab	M	0.04±0 ab	MB	0.10±0 ac	B	0.05±0 ab	MB	3.99±0.96 ab	B	126.32±2.61 c	A
12	25.67±2.33 ab	M	0.03±0 b	MB	0.11±0 ac	B	0.05±0 ab	MB	7.61±0.63 ab	M	51.11±1.02 f	A

^z. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.

^y. Las letras mayúsculas informan del significado de los valores obtenidos de acuerdo con la clasificación de calidad del suelo de Álvarez y Etchevers (2011): MA= muy alto, A= alto. M=medio, MB=muy bajo, B= bajo

Los valores de pH oscilan entre 4.47 en S.6 (Chima-J.L.) y 6.38 en S.4 (Semilleros), lo que indica que los suelos son ácidos; mientras que la conductividad eléctrica oscila entre 1.97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en S.3 (Azálea-chima-J.L.) y 5.10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en S.4 (Semilleros), siendo diferente entre muchos de los sistemas.

La capacidad de intercambio catiónico difiere claramente entre los sistemas S.3 (Azálea-chima-J.L.) y S.6 (Chima-J.L.) y S.12 (Bosque Mesófilo de Montaña), con valores de 40.58, 25.75 y 22.42 meq/100g, respectivamente (Cuadro 5.7).

Cuadro 5.7. Valor medio y error estándar (n=3) de pH Conductividad eléctrica (CE) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los doce sistemas estudiados.

Sistema	pH	CE (μ s)	CIC (meq/100g)
1	5.17 $\pm$ 0.01 ab	3.10 $\pm$ 0.06 a	39.42 $\pm$ 0.51 ab
2	5.28 $\pm$ 0.01 ab	4.57 $\pm$ 0.07 b	38.75 $\pm$ 0.25 ab
3	4.97 $\pm$ 0.02 ab	1.97 $\pm$ 0.02 c	40.58 $\pm$ 0.22 a
4	6.38 $\pm$ 0.02 a	5.10 $\pm$ 0.12 d	32.75 $\pm$ 0.14 ab
5	6.05 $\pm$ 0.03 ac	4.23 $\pm$ 0.03 e	30.17 $\pm$ 0.17 ab
6	4.47 $\pm$ 0.01 b	2.50 $\pm$ 0.10 fg	25.75 $\pm$ 0.38 b
7	5.02 $\pm$ 0.01 ab	2.97 $\pm$ 0.03 ah	35.58 $\pm$ 0.74 ab
8	5.09 $\pm$ 0.01 ab	2.03 $\pm$ 0.07 c	34.08 $\pm$ 0.42 ab
9	5.76 $\pm$ 0.01 ab	3.47 $\pm$ 0.09 i	30.42 $\pm$ 0.08 ab
10	5.27 $\pm$ 0 ab	2.77 $\pm$ 0.03 fh	35 $\pm$ 0 ab
11	5.14 $\pm$ 0 ab	2.33 $\pm$ 0.03 gc	28.75 $\pm$ 0.75ab
12	4.57 $\pm$ 0 bc	2.13 $\pm$ 0.03 c	22.42 $\pm$ 0.22 b

^z Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.

El análisis de componentes principales sintetiza todas las tendencias significativas encontradas en cuanto a los valores de las variables químicas relacionadas con la fertilidad del suelo registrados en los 12 sistemas estudiados (Figura 5.5). Se observa como los sistemas 4 (Semilleros), 5

(Arrayán), 6 (Chima-J.L.), 9 (CH-CE-R.) y 12 (Bosque Mesófilo de Montaña) son los que muestran suelos con mayores niveles de micronutrientes y de macronutrientes, a excepción del azufre, así como valores más altos de CE y pH. Por su parte los sistemas 2 (Silvopastoril), 3 (Azálea-chima-J.L.), 10 (Mixto-A.) y 11 (Chima-A.) son los que muestran valores más bajos de todas las variables químicas del suelo, a excepción del azufre y la CIC. Los sistemas 1 (Guayabo), 7 (Azálea-chima-R.) y 8 (Azálea-R.) ocupan una posición intermedia.

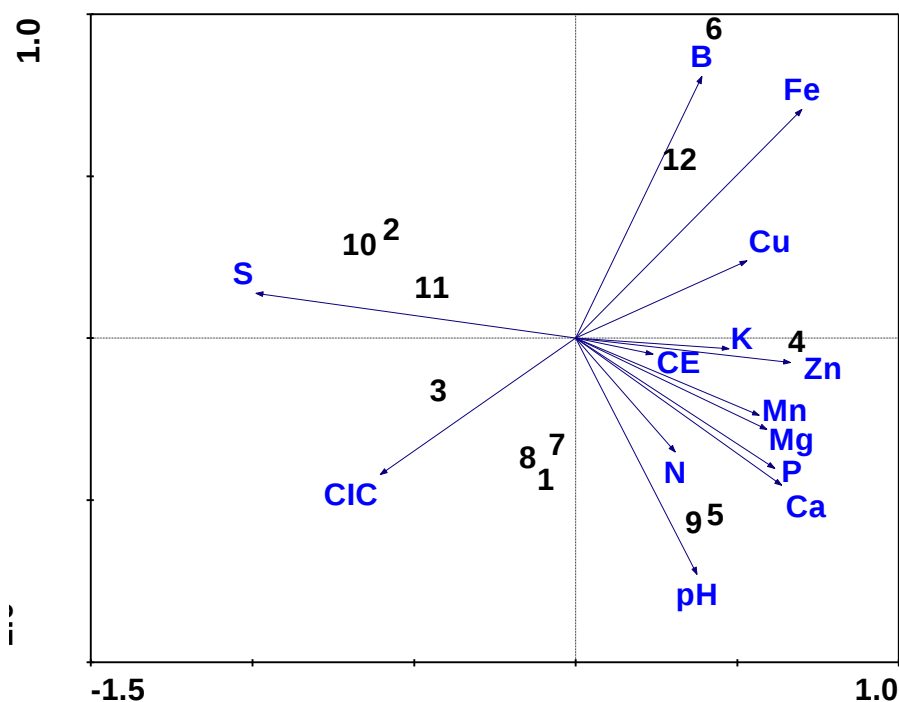


Figura 5.4. Análisis de Componentes Principales (APC) que ordena los diferentes sistemas productivos (números del 1 al 12 identificados en Cuadro 5.1) en función de las variables químicas del suelo, cuyos valores aumentan hacia el extremo de los vectores. El eje 1 explica el 89.9% de la varianza total. Abreviaturas de las variables edáficas como en Cuadro 5.4. A excepción del sistema 9 (CH-CE-R.) el cual aún presenta extracción, en los sistemas cuatro (semilleros), cinco (arrayán), seis (Chima-J.L.) se ha dejado esa práctica, específicamente semilleros (S4) y BMM (S12) son sistemas donde se ha dejado surgir la vegetación de sucesión secundaria, en el primero porque

debido a que se encuentra saturado por agua durante una gran parte del año, lo cual no permite realizar actividades agrícolas y en el segundo porque ha sido el único relicto de Bosque Mesófilo que se ha podido salvar de la completa deforestación.

Ahora bien, respecto a los valores bajos, los sistemas tres (Chima-Azálea-J.L.) y diez (Mixto-A.) aún presentan extracción de cepellón y uso de azadón, esto puede estar impactando en la fertilidad del suelo; en el sistema 11 (Chima-A.) se extrajo arbusto de chima por varias décadas, aunado a que es un sistema que se encuentra en ladera, lo anterior ha contribuido a la pérdida del horizonte orgánico, por lo cual actualmente se encuentran suelos más claros y pedregosos. En este mismo rango el caso del sistema dos (silvopastoril) puede ser singular, ya que al modificarse desde 2012, se han dejado los arbustos de chima sólo para venta de follaje y se han incorporado forrajes. Sin embargo, como se ha tenido problema para que prosperen se ha hecho uso de los siguientes fertilizantes químicos: sulfato ferroso, sulfato de manganeso, sulfato de zinc, sulfato de cobre, leonardita, urea, fosfato de amonio, sulfato de magnesio y cloruro de potasio, para fertilizar el suelo, lo anterior puede estar teniendo un efecto sobre el incremento de S en los suelos.

Respecto a los sistemas que se encuentran con un nivel intermedio de nutrientes está el sistema 1 (guayabo), el cual se ha dejado descansar desde 2012 y se está modificando con la introducción de guayabo (*Psidium guajava*), este descanso puede haber mejorado las condiciones edáficas.

Los sistemas 7 y 8 son un caso extraordinario puesto que son unos de los que presentan mayor extracción de cepellón y malas prácticas productivas, sin embargo, se encuentran en una zona intermedia y ello puede deberse al tipo de suelo, el cual tiene un primer horizonte profundo y rico en materia orgánica (Covaleda Ocón, 2008)

5.4.3. Carbono en hojarasca, mantillo y suelo

Los resultados indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre sistemas, en cuanto al contenido de carbono de la hojarasca ($H_{[11, n=36]} = 20.68$, $p=0.037$) y del mantillo ($F_{[11, 24]} = 2.73$, $p=0.019$). El menor contenido de carbono en hojarasca se da con diferencia en el sistema 5 (Arrayán), mientras que el mayor se registra en el Bosque Mesófilo de Montaña (S12; ver Cuadro 5.8). Por su parte, el menor contenido en carbono del mantillo se da también en el sistema 5 (Arrayán), seguido del 4 (Semilleros) y el 9 (CH-CE-R.), mientras que el mayor valor se registra en S8 (Azálea-Rodolfo).

Cuadro 5.8. Contenido de carbono (t/ha) en la hojarasca, mantillo y primeros 45 cm del suelo en los 12 sistemas estudiados. Valor medio y error estándar ($n=3$). Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.

	Hojarasca	Mantillo	Suelo (0-45 cm)
S1	0.40±0.28 ab	1.10±0.31 ab	275.99±8.66
S2	0.15±0.05 ab	1.06±0.32 ab	352.98±22.73
S3	0.15±0.02 ab	1.18±0.18 ab	326.10±20.01
S4	0.30±0.05 ab	0.70±0 a	256.80±8.67
S5	0.08±0.02 a	0.42±0.04 a	321.08±2.02
S6	0.47±0.07 ab	1.21±0.26 ab	301.65±32.39
S7	0.16±0.05 ab	1.34±0.28 ab	274.72±24.23
S8	0.31±0.14 ab	1.81±0.44 b	299.20±17.05
S9	0.23±0.07 ab	0.69±0.10 ab	283.86±22.93
S10	0.18±0.06 ab	1.01±0.05 ab	338.73±7.97
S11	0.44±0.03 ab	1.31±0.36 ab	236.58±16.59
S12	0.63±0.08 b	1.09±0.14 ab	389.67±3.28

Sin embargo, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre sistemas ($H_{[11, n=36]} = 16.62$, $p=0.12$), en el contenido en carbono orgánico en los primeros 45 cm del suelo (Cuadro 5.8), aunque los valores más altos se dan en el Bosque Mesófilo de Montaña (S.12) y en el Silvopastoril (S.2).

Considerando los datos de las diferentes profundidades en los 12 sistemas se encuentran diferencias significativas tanto entre sistemas ($H_{[11, n=108]} = 31.71$, $p=0.0008$; Figura 5.6) como entre profundidades ($H_{[2, n=108]} = 17.27$, $p=0.0002$; Figura 5.7), pero no se detecta interacción entre ambos (sistema x profundidad: $F_{[22, 72]} = 0.616$, $p=0.898$). El mayor valor de contenido en carbono orgánico en el suelo se da en el Bosque Mesófilo de Montaña (S.12), y difiere significativamente del carbono acumulado por los suelos de los sistemas 4 (Semileiros), 6 (Chima-J.L.) y 11 (Chima-A.) (Lo Ver Figura 5.6). Esto puede deberse a que el fragmento de bosque se ha dejado descansar desde 2012, en él se sembraba chima, pero a últimos años con ayuda del descanso, las pocas especies que quedaban de bosque y las condiciones climáticas ha surgido la vegetación de sucesión secundaria, si bien los suelos son más claros y pedregosos, están cubiertos de abundante vegetación, lo cual ha ayudado a detener el proceso erosivo y a mejorar las condiciones edáficas de dicho sistema. Etchevers (2006) menciona que los andosoles están entre los suelos con mayores contenidos de carbono.

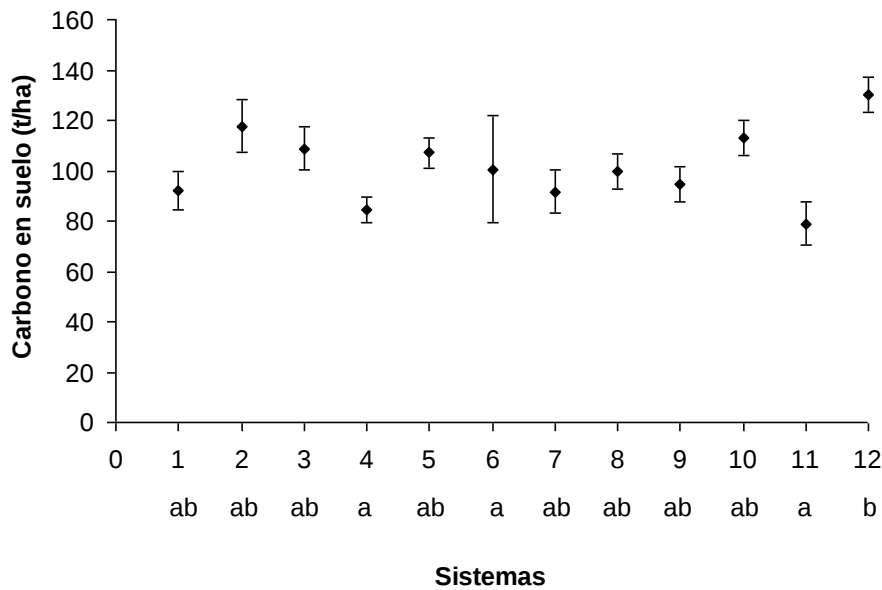


Figura 5.5. Valor medio y error estándar (n= 9) del contenido en carbono orgánico de los suelos (t/ha) en los 12 sistemas estudiados, considerando los datos de las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) en cada punto de muestreo (círculo).

El contenido de carbono orgánico es mayor en los primeros 15 cm de profundidad del suelo respecto al resto de profundidades, entre las que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas (Figura 5.7). Los valores determinados en los sistemas productivos estuvieron entre 74-173 Mg de C g⁻¹. Este patrón se puede explicar porque es posible que los primeros 15 cm de suelo correspondan al primer horizonte edáfico en todos los sistemas, mientras que las muestras tomadas a mayor profundidad pueden corresponder a un horizonte inferior o a la mezcla de dos, o incluso seguir correspondiendo al horizonte superficial. En cualquier caso la tendencia decreciente de acumulación de carbono orgánico en suelo con la profundidad concuerda con la encontrada en multitud de trabajos, específicamente considerando suelos de ando, autores como Mizota y Van Reeuwijk (1989) para el primer horizonte encontraron un rango de 80-300 Mg de C g⁻¹; Rodríguez et al. (2006) encontraron valores para un andosol de las islas canarias bajo vegetación natural entre 70 y 190 Mg de C g⁻¹; Nishiyama, Sumikawa, Guan & Marumoto (2001) para un andosol en Japón reporta unos contenidos entre 37.9-154 Mg de

C g⁻¹ y Covalada (2008) reporta contenidos entre 35 y 160 Mg de C g⁻¹ en un suelo de ando en Michoacán, México.

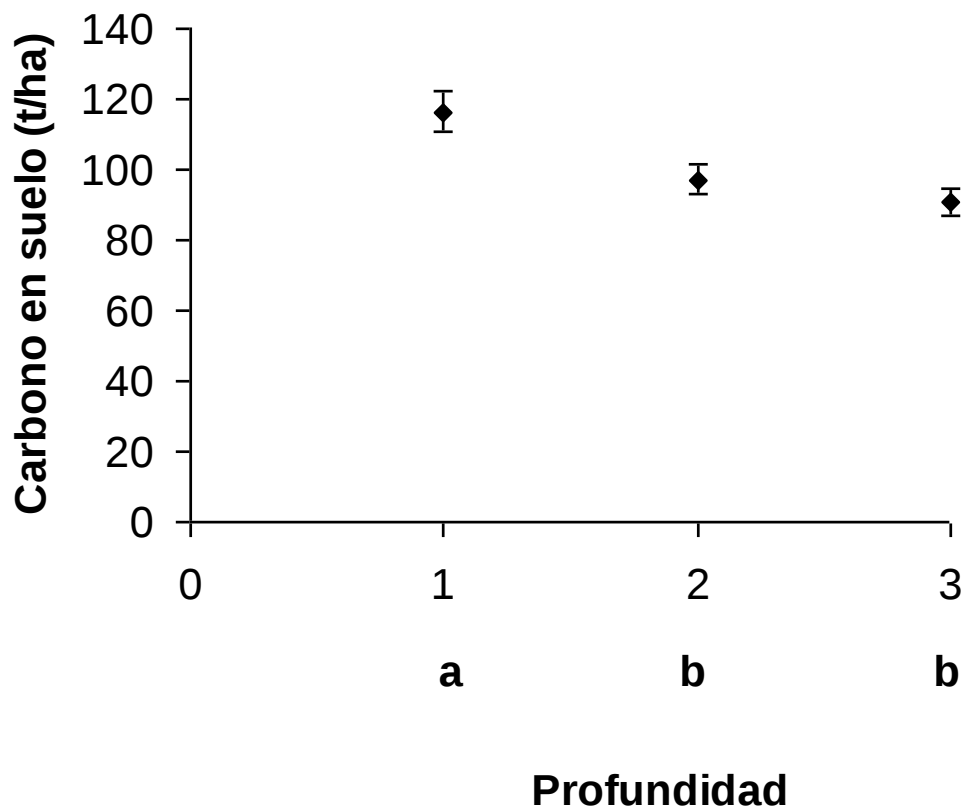


Figura 5.6. Valor medio y error estándar ($n = 36$) del contenido en carbono orgánico de los suelos (t/ha) en las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), considerando los datos de los tres puntos de muestreo (círculos) por sistema (12).

Comparando los valores de carbono entre sistemas dentro de cada profundidad (Cuadro 5.9), no se encuentran diferencias significativas ni para la profundidad 0-15 cm ($H_{[11, n=36]} = 16.04$, $p = 0.1395$), como tampoco para la profundidad de 30-45 cm ($H_{[11, n=36]} = 9.997$, $p = 0.5307$). Sólo se encuentran diferencias significativas entre sistemas para la profundidad de 15-30 cm ($F_{[11, 24]} = 3.97$, $p = 0.0023$). La cantidad de carbono orgánico acumulado en el suelo a una profundidad de entre 15 y 30 cm es significativamente menor en los sistemas 4 (Semilleros), 6 (Chima-J.L.), 7 (Azálea-chima-R.) y 11 (Chima-A.) y mayor en el Bosque Mesófilo de Montaña (S.12).

Cuadro 5.9. Contenido de carbono (t/ha) en el suelo a distintas profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), en los 12 sistemas estudiados. Valor medio y error estándar (n=3). Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0.05$) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.

SISTEMA	Suelo (0-15 cm)	Suelo (15-30 cm)	Suelo (30-45 cm)
S1	115.24±3.07	93.02±4.50 ab	67.72±9.75
S2	141.72±16.26	113.69±18.94 ab	97.58±13.28
S3	118.06±3.02	99.65±5.89 ab	108.40±27.01
S4	94.94±11.40	75.26±6.15 a	83.01±6.25
S5	101.35±8.02	120.22±14.42 ab	99.51±6.38
S6	138.85±65.31	79.27±7.55 a	83.53±3.67
S7	110.66±11.62	79.70±16.40 a	84.37±14.57
S8	116.2±7.32	92.47±8.54 ab	90.53±14.71
S9	98.78±17.14	91.60±7.64 ab	93.47±14.93
S10	132.97±10.17	110.27±9.11 ab	95.53±5.52
S11	99.90±1.78	67.63±15.01 a	69.04±17.27
S12	128.36±9.5	144.73±4.93 b	116.59±16.45

5.4.4. Respiración microbiana

Igual que sucedía en el caso del carbono en suelo, considerando los datos de respiración microbiana en las diferentes profundidades de los 12 sistemas, se encuentran diferencias significativas tanto entre sistemas ($H_{[11, n=108]} = 27.65$, $p=0.0037$; Figura 5.8) como entre profundidades ($H_{[2, n=108]} = 21.85$, $p<0.0001$; Figura 5.9), pero no se detecta interacción entre ambos (sistema x profundidad: $F_{[22, 72]} = 0.95$, $p=0.54$). El mayor valor de respiración microbiana se da en el suelo del Bosque Mesófilo de Montaña (S.12), pero únicamente difiere significativamente del registrado en los sistemas 8 (Azálea-R.) y 9 (CH-CE-R.) (ver Figura 5.8). En el sistema 12 (BMM), el resultado puede deberse al tipo y cantidad de vegetación (Raich & Tufekcioglu, 2000)

La respiración microbiana es mayor en los primeros 15 cm de profundidad del suelo respecto al resto de profundidades, entre las que no se encuentran

diferencias estadísticamente significativas (Figura 5.9). Este patrón se corresponde con el encontrado para el contenido de carbono orgánico en suelo, sobre el que actúan los microorganismos en su descomposición, consumiendo oxígeno y liberando CO² (Vazquez, J.R., Macias F. y Menjivar J.C. 2013; Ryan & Law, 2005)

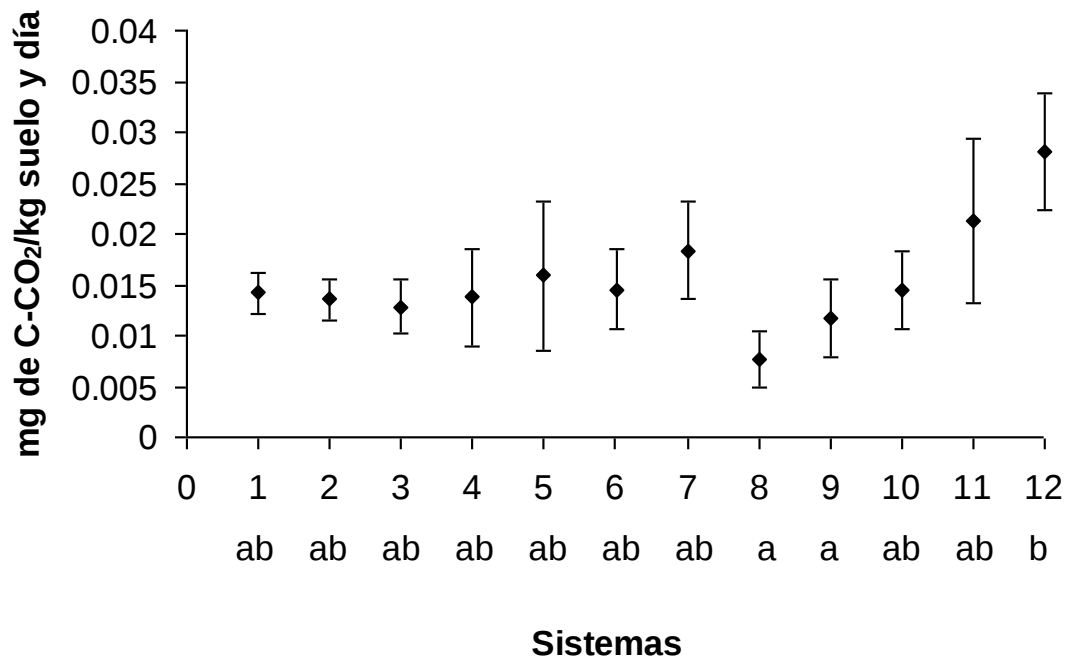


Figura 5.7. Valor medio y error estándar (n= 9) de la respiración microbiana (mg C-CO₂ por kg de suelo seco y día) en los 12 sistemas estudiados, considerando los datos de las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) en cada punto de muestreo (círculo).

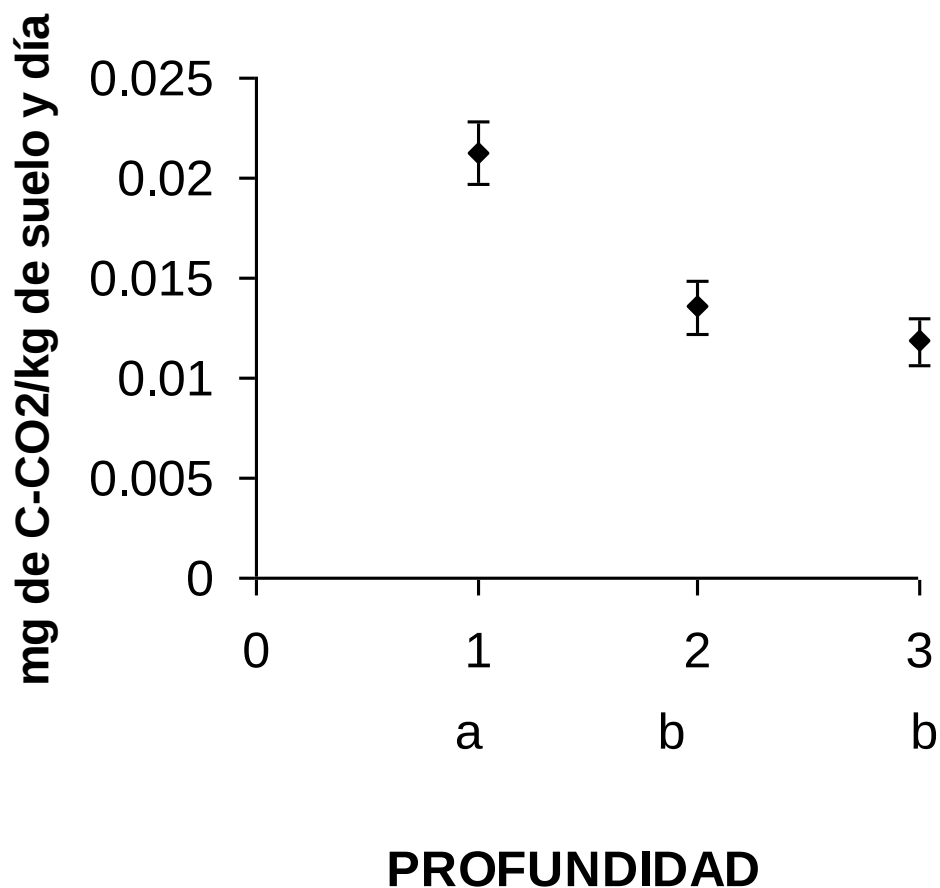


Figura 5.8. Valor medio y error estándar ($n=36$) de la respiración microbiana (mg C-CO_2 por kg de suelo seco y día) en las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), considerando los datos de los tres puntos de muestreo (círculos) por sistema (12).

Comparando los valores de respiración microbiana entre sistemas dentro de cada profundidad (Cuadro 5.10), no se encuentran diferencias significativas ni para la profundidad 15-30 cm ($H_{[11, n=2]}=12.54$, $p=0.32$), ni para la profundidad de 30-45 cm ($H_{[11, n=2]}=11.9$, $p=0.37$). Sólo se encuentran diferencias significativas entre sistemas para la profundidad de 0-15 cm ($F_{[11, 24]}=6.84$, $p<0.0001$). La respiración microbiana a una profundidad de entre 0 y 15 cm es significativamente mayor en los sistemas 11 (Chima-A.) y 12 (Bosque Mesófilo de Montaña), seguidos de 7 (Azálea-chima-R.) y 10 (Mixto-A.), y menor en el sistema 8 (Azálea-R.).

Cuadro 5.10. Respiración microbiana (mg C-CO₂ x kg⁻¹ de suelo seco x día⁻¹) en el suelo a distintas profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm), en los 12 sistemas estudiados. Valor medio y error estándar (n=3). Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05) entre pares de sistemas tras aplicar los contrastes a posteriori.

SISTEMA	Suelo (0-15 cm)	Suelo (15-30 cm)	Suelo (30-45 cm)
S1	0.017±0.002 ac	0.013±0.002	0.013±0.002
S2	0.016±0.001 ac	0.014±0.002	0.011±0.002
S3	0.015±0.0006 ac	0.014±0.004	0.010±0.003
S4	0.017±0.001 ac	0.017±0.007	0.007±0.001
S5	0.019±0.005 ac	0.013±0.011	0.015±0.008
S6	0.019±0.005 ac	0.015±0.001	0.010±0.004
S7	0.028±0.002 ab	0.013±0.003	0.014±0.003
S8	0.009±0.003 c	0.004±0.002	0.009±0.003
S9	0.018±0.005 ac	0.010±0.002	0.007±0.001
S10	0.021±0.001 abc	0.012±0.005	0.010±0.001
S11	0.036±0.002 b	0.013±0.003	0.014±0.009
S12	0.038±0.005 b	0.025±0.004	0.022±0.003

5.5. Conclusiones

Las actividades antrópicas han supuesto sobre el área de estudio una alteración en sus propiedades, no obstante, dichas alteraciones se han amortiguado por el tipo de suelo que hay en la región, el cual es un Andosol mólico, rico en materia orgánica y con un primer horizonte que puede ir más allá de los 90 cm de profundidad.

A pesar de las más de tres décadas de extracción de cepellón, en los sistemas que se han afectado más, el suelo aún conserva una capa de materia orgánica de al menos 15 cm. Además ha sido de gran ayuda que no se hace uso de maquinaria y en algunos sistemas los restos de las podas se dejan sobre el suelo.

Cabe destacar que estos suelos también juegan un papel importante como reservorios de carbono, por lo que las prácticas productivas inadecuadas implican importantes pérdidas de carbono, las cuales serán aportadas a la atmósfera. Por lo cual, la fertilidad del suelo puede no verse empeorada, no obstante los aportes de gases de efecto invernadero a la atmósfera contribuirán al cambio climático. Para monitorear dichos cambios sería adecuado hacer estudios en un futuro sobre sistemas productivos actuales y cambio de uso de suelo de éstos mismos a lo largo del tiempo para observar los cambios en la fijación de carbono edáfico

Finalmente, se debe decir que el tipo de suelo y sus propiedades ofrece un nicho de oportunidad no sólo en el predio de ocotitla, sino en la comunidad de Xaltepuxtla, para diversificar la producción y plantear sistemas alternativos que por un lado permitan desarrollar al ecosistema natural, preservar los suelos y por el otro ofrezcan posibilidades de desarrollo económico y agroalimentario a los pobladores.

5.6. Literatura citada

- Acton, D. F., & Padbury, G. A. (1993). A conceptual framework for soil quality assessment and monitoring. In Acton, D.F. (Ed.) *A Program to Assess and Monitor Soil Quality in Canada: Soil Quality Evaluation Program Summary. Research Branch, Agriculture*. Canada: Ottawa.
- Álvarez-Sánchez, M. E., & Marín-Campos, A. (2015). *Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta. Laboratorio de química de suelos*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Aoyama, M. & Nagumo, T. (1997). Comparison of the effects of Cu, Pb, and As on plant residue decomposition, microbial biomass, and soil respiration. *Soil Science and Plant Nutrition*, 43: 613-622.
- Cabria, F., Calandroni, M., & Monterubbianesi, G. (2002). Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. *Ciencia del Suelo*, 20(2), 69-79.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2013). *Estudio Previo Justificativo para la modificación de la Declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales "Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa" ubicada en los estados de Hidalgo y Puebla*. México: CONANP.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2015). Los datos se obtuvieron de la página: <http://regiongolfodemexico.conanp.gob.mx/rionecaxa.php#.VOa9keaG-vw>. 12 de abril de 2015. 14:20
- Covaleda Ocón, S. (2008). Influencia de diferentes impactos antrópicos en la dinámica del carbono y fertilidad de suelos volcánicos mexicanos, implicaciones sobre el secuestro de carbono. Universidad de Valladolid, España.
- Doran, J.W., & Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. In Doran, J.W. (Ed.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Special Publication No. 35. Madison, WI: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, pp. 3–21.
- Doran, J.W., & Safley, M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In Pankhurst, C., Doube, B.M., & Gupta, V. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford: CAB International, pp. 1–28.
- Etchevers, B., J.D. & Álvarez S., M.E. (2011). Interpretación de los análisis químicos de suelo. México: COLPOS-CHAPINGO.
- Etchevers, J. D., Monreal, C. M., Hidalgo, C., Acosta, M., J. Padilla, C., & López, R. M. (2005). *Manual para la determinación de carbono en la parte aérea*

y subterránea de sistemas de producción en laderas. México: Colegio de Postgraduados.

- Etchevers, J.D., Maser, O., Balbontín, C., Gómez D., Monterroso, A., Martínez, R., Acosta, M., Martínez, M., & Ortiz C. (2006). Soil Carbon sequestration in México and Central América (biome A). En: Lal, R, Cerri, C., Bernoux M., Etchevers, J.D & Cerri, E. (2006). Soil carbon sequestration in Mexico and Central America (Biome A). *Carbon sequestration in soils of Latin America*, 119-146.
- Forero, J.A. (2000). *Conductividad hidráulica para drenaje de campos agrícolas*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Forsythe, W. (1980). *Física de suelos*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- García, C., Gil, F., Hernández, T., & Trasar, C. (2003). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en suelos. Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana*. España: Mundi-Prensa.
- Guisande, C., Vaamonde, A., & Barreiro, A. (2011). *Tratamiento de datos con R, STATISTICA y SPSS*. Madrid: Ediciones Días de Santos.
- Isermeyer, H. (1952). Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 56(1-3), 26-38.
- Lägg, W. (1976) Die Bestimmung der CO₂-Bildung als Mass der bodenbiologischen Aktivität. *Schweiz Landwirtsch Forsch* 15: 371–380
- Larson, W. E., & Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*. Bangkok, Thailand: International Board for Soil Research and Management (IBSRAM) 12(2).
- Mizota, C. & Van Reeuwijk L.P. (1989). Clay mineralogy and Chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climate regions. ISRIC. Wageningen.
- Nishiyama, M., Sumikawa, Y., Guan, G., & Marumoto, T. (2001). Relationship between microbial biomass and extractable organic carbon content in volcanic and non-volcanic ash soil. *Applied Soil Ecology*, 17(2), 183-187.
- NOM-021-SEMARNAT-2000, 1 DOF § segunda sección (2002)
- Paz P., F.; Covalada, S. & Etchevers, B., J. D. (2014). Distribución del carbono orgánico en los diferentes tamaños de partículas del suelo: modelo simple de cinética lineal. *Terra Latinoamericana*, 32(2), 127-142.
- Porta, J.; López-Acevedo, M. & Roquero, C. (1994) *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-prensa.

- Raich, J.W., & Tufekcioglu, A. (2000). Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry* 48: 71-90
- Ríos, S., G.A. (2012). *Cambio climático y gestión de áreas naturales protegidas*. México: GIZ.
- Rodríguez, A., Arbelo, C.D., Guerra, J.A., Mora, J.L., Notario, J.S. y Armas, C.M. (2006). Organic carbón stocks and soil erodibility in Canary Island andosols. *Catena*, 66: 228-235
- Rodríguez, O. (1992). *Manual de prácticas de física de suelos*. México: Trillas.
- Ryan, M. G., & Law, B. E. (2005). Interpreting, measuring, and modeling soil respiration. *Biogeochemistry*, 73(1), 3-27.
- Ter Braak, C. J. F., & Šmilauer, P. (2002). *CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canocical Community Ordination (Version 4.5)*. Ithaca, NY: Microcomputer Power.
- Thompson, L.M. & Thoeh, F.R. (1988). Los suelos y su fertilidad. Barcelona: Reverte S.A.
- U.S. Soil Conservation Service. (2008). *Drainage Surveys*. U.S. Soil Conservation Service, Section 16.
- Universidad Autónoma de Chapingo e Instituto Nacional de Ecología. (2001). *Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial de las cuencas hidrológicas de los Ríos Necaxa y Laxaxalpan*. Texcoco, México: Documento interno.
- Vazquez, J.R., Macias F. y Menjivar J.C. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el departamento del Magdalena, Colombia. *Bioagro* 25 (3): 175-180
- Williams-Linera, G. (2012). *El bosque de niebla del centro de Veracruz: ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. México: CONABIO.

5.7. Anexos

5.7.1. Estabilidad de agregados

Con el suelo secado al aire, habiendo separado raíces y piedras, se tamizó por mallas de 2 y 1 mm; del suelo retenido en este último se pesaron 10 g de suelo, obteniendo de esta forma la muestra.

Una vez obtenida la muestra, se ajustó el yoder y se colocaron dos tamices de 0.25, se bajó la barra hasta el punto de calibración y se sujetó bien asegurando que el suelo estuviera siempre sumergido y que no penetrará agua por el borde superior, una vez realizado lo anterior se adicionaron los 10 g de suelo esparciéndolo sobre la malla lo más homogéneamente posible.

Se prendió el yoder dejándolo funcionar por tres minutos. Una vez detenido el aparato se subió la barra de sujetamiento de cada tamiz y se separaban cuidadosamente los tamices del yoder.

Se lavó el material retenido en cada tamiz dentro de una tina, se vertió en un capsula con ayuda de una piceta, para no perder partículas, ya que se tuvieron las partículas en el recipiente se quitó el exceso de agua decantándola y tratando de quitar toda la materia orgánica presente, se volvió a utilizar la piceta para pasarlas a uno de los vasos de precipitado, previamente pesado e identificado.

Se colocaron los vasos con el material en la estufa a 105° por 24 horas, ulteriormente, se sacó el vaso y se pesó para obtener el peso de agregados más arenas. Obtenido el peso se agregó al vaso dispersante (solución de calgón) de manera que se cubrió el material y se agitó por 10 minutos, dejándolo reposar otros 20 minutos. Usando nuevamente el tamiz de 0.25 se pasó el material dispersado por éste, se lavó perfectamente hasta que quedaron únicamente arenas en el tamiz, se regresó al vaso de precipitado, luego a la estufa por otras 24 horas a 105° y se volvió a pesar.

Para calcular el porcentaje de agregados estables se procedió a restar al peso de agregados más arena el peso de arenas y se dividió entre la resta del peso de la muestra menos el peso de arenas.

5.7.2. Textura

Se tamizaron 100 g de suelo por malla 2mm, a los cuales se les agrego peróxido de hidrogeno al 30%, ello se realizó por varios días hasta que se terminó de quemar la materia orgánica, una vez quemada la materia orgánica se llevaron a la plancha para evaporar el resto de Peróxido de hidrógeno, se vertieron en frascos metálicos y se pusieron a secar a 110 °C por 24 horas, una vez secos se molieron y tamizaron nuevamente y se tomaron 40 g de suelo. A este suelo se le paso a vasos metálicos se le adicionaron 10 ml de dispersante, se dejó reposar durante unos minutos y se agito por 1 hora. La suspensión de suelo se vertió en una probeta de 100° ml la cual se aforó con agua destilada, se puso un hidrómetro y se tomaron lecturas del desplazamiento del hidrómetro y la varianza de temperaturas a los 30", 1', 3', 30', 360', 480' y 720'.

6. CONCLUSIONES GENERALES

Con el diagnóstico biofísico e histórico de los sistemas agroforestales del predio Ocotitla, en Xaltepuxtlá, Puebla, se definieron 11 sistemas de ornamentales con 4 cultivos dominantes azálea, chima, cedrela y arrayán. Además, se encontró un relicto bastante fragmentado de Bosque Mesófilo de Montaña.

Los recorridos de campo y las entrevistas que se realizaron a propietarios y medieros dejaron claro que los propietarios desconocen lo que pasa en sus predios; aunque los propietarios han querido impulsar medidas correctivas, su desvinculación no les ha permitido un resultado favorable. Además, en la mayoría de los casos se trata de imponer cambios que no son adecuados para la realidad y dejan de lado a los medieros, ello ha conllevado a una actitud de enojo por parte de estos últimos y a cierta rebeldía, la cual impacta en daños al medio ambiente. Cabe destacar que los medieros son gente de procedencia indígena con un nivel educativo bajo y un alto analfabetismo, en situación de pobreza extrema lo que conlleva el uso de recursos forestales para satisfacer sus necesidades básicas, una nula educación ambiental que implica no tener un lugar adecuado para los desechos y tener viviendas donde viven hacinados. Estas circunstancias son preocupantes, ya que trabajan para satisfacer sus necesidades más básicas, ello no les permite pensar en qué parte de sus prácticas dañan el medio ambiente o ni siquiera les importa, su objetivo es que la actividad que ellos realizan les permita llevar un poco de comida a sus casas.

Se constató que la pobreza es un factor que se tiene que erradicar, para que la gente, al tener sus necesidades cubiertas, no vea los ecosistemas sólo como una fuente de recursos y valore otros servicios que brindan. Por supuesto, se debe resaltar el daño que ha sufrido esta parte de la Sierra Norte de Puebla, sobre todo por la expansión de ornamentales y la respuesta al mercado de planta de Tenango de las Flores, puesto que al tratar de mantener un nivel productivo aceptable se ha dejado de lado la sostenibilidad para que sea redituable su actividad.

El análisis histórico ayudó a comprender de qué forma la actividad económica de la región ha impulsado el cambio de usos del suelo, y llevado a los trabajadores a implementar malas prácticas de manejo. Las malas prácticas que se encontraron en el área son: la extracción de planta con cepellón, vender tierra como sustrato, hacer uso de azadón para limpiar las arvenses, lo cual implica una exposición del suelo a la erosión al dejarlo descubierto en pendientes tan pronunciadas. Las anteriores prácticas no sólo son preocupantes desde el punto de vista ambiental, sino que están dejando a los medieros sin alternativas de sustento para el futuro. No obstante, si se buscaran actividades que diversificarán sus productos y volvieran a realizar sus antiguas prácticas de manejo, se podrían tener beneficios para la revegetación y se evitaría la pérdida de suelo por extracción de cultivos ornamentales con cepellón.

Es necesario detener la extracción de cepellón e implementar sólo la venta de follaje, puesto que aunque por año en los sistemas que más se pierde es un máximo de dos toneladas (S8.Azálea-Rodolfo), ello en al menos una década habrá supuesto la pérdida de una proporción importante del horizonte con alto contenido de materia orgánica. De seguir esa tendencia será inminente el empobrecimiento de los suelos e impensable el implementar cultivos anuales que salvaguarden la seguridad alimentaria de la zona; cuestión preocupante ya que hablamos de zonas indígenas con alto grado de marginación.

También es importante que se recuperen las buenas prácticas de manejo del suelo que se realizaban antaño, tales como chapear y dejar los residuos en el sistema, no usar herramientas o maquinaria, evitar el uso de fertilizantes químicos.

Las actividades antrópicas han supuesto sobre el área de estudio una alteración en sus propiedades, no obstante, dichas alteraciones se han amortiguado por el tipo de suelo que hay en la región, el cual es un Andosol mólico, rico en materia orgánica y con un primer horizonte que puede ir más allá de los 90 cm de profundidad.

A pesar de las más de tres décadas de extracción de cepellón, en los sistemas que se han afectado más, el suelo aún conserva una capa de materia orgánica de al menos 15 cm. Además ha sido de gran ayuda que no se hace uso de maquinaria y en algunos sistemas los restos de las podas se dejan sobre el suelo.

Cabe destacar que estos suelos también juegan un papel importante como reservorios de carbono, por lo que las prácticas productivas inadecuadas implican importantes pérdidas de carbono, las cuales serán aportadas a la atmósfera. Por lo cual, la fertilidad del suelo puede no verse empeorada, no obstante los aportes de gases de efecto invernadero a la atmósfera contribuirán al cambio climático. Para monitorear dichos cambios sería adecuado hacer estudios en un futuro sobre sistemas productivos actuales y cambio de uso de suelo de éstos mismos a lo largo del tiempo para observar los cambios en la fijación de carbono edáfico

Finalmente, se debe decir que el tipo de suelo y sus propiedades ofrece un nicho de oportunidad no sólo en el predio de ocotitla, sino en la comunidad de Xaltepuxtla, para diversificar la producción y plantear sistemas alternativos que por un lado permitan desarrollar al ecosistema natural, preservar los suelos y por el otro ofrezcan posibilidades de desarrollo económico y agroalimentario a los pobladores.