



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

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



**EVALUACIÓN DE LA RECARBONIZACIÓN DEL SUELO EN SISTEMAS
AGROECOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA ATLAUTLA, PUEBLA**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

Edel Gómez Otamendi

Directora de tesis:

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega



Octubre 2023



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra"

**EVALUACIÓN DE LA RECARBONIZACIÓN DEL SUELO EN SISTEMAS
AGROECOLÓGICOS DE LA MICROCUENCA ATLAUTLA, PUEBLA**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

Edel Gómez Otamendi

Comité tutorial:

Directora	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega
Tutor	Dr. José Víctor Rosendo Tamariz Flores
Integrante Comité Tutorial	Dra. Sonia Emilia Silva Gómez
Integrante Comité Tutorial	Dra. Fabiola Avelino Flores
Integrante Comité Tutorial	Dra. María Guadalupe Huerta Morales

Octubre 2023

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
III.	JUSTIFICACIÓN	3
IV.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:	4
V.	HIPÓTESIS:	4
VI.	OBJETIVOS	4
	6.1 Objetivo general	4
	6.2 Objetivos específicos	4
VII.	MARCO TEÓRICO	5
	7.1 Antecedentes	5
	7.1.2 Conocimientos campesinos	5
	7.1.3 Carbono orgánico del suelo	6
	7.1.4 Cambio climático y el rol del manejo en sistemas agroecológicos para la mitigación de CO ₂	9
	7.2 Marco conceptual	11
	7.2.1 Teoría que soporta la investigación	12
	7.2.2 Conceptos utilizados	12
	7.3 Marco legal	14
	7.4 Localización del área de estudio	15
	7.5 Demografía	19
	7.6 Socioeconomía	20
VIII.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
	8.1 Fase de gabinete	21
	8.1.2 Recopilación de información	21
	8.2 Fase de campo	22
	8.2.1 Selección de agroecosistemas	22
	8.2.2 Entrevistas semiestructuradas y encuesta	23
	8.3 Fase de laboratorio	23
	8.3.1 Descripción físico-química de los parámetros del suelo	23
	Variables físicas	24
	8.3.2 Densidad aparente	24

8.3.3 Textura	24
8.3.4 Fragmentos gruesos	24
Variables químicas	24
8.3.5 pH	24
8.3.6 Conductividad eléctrica	24
8.3.7 Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables	25
8.3.8 Carbono orgánico del suelo	25
8.3.9 Materia orgánica	25
8.4 Densidad aparente	25
8.5 Carbono orgánico del suelo (COS).....	26
8.6 Relación entre carbono orgánico del suelo y el conocimiento campesino de la microcuenca Atlautla, Puebla.....	26
8.7 Análisis estadístico	28
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
9.1 Zona de estudio y muestreo de suelo	29
Muestreo en la microcuenca Atlautla	30
9.2 Sistemas agroecológicos en la microcuenca Atlautla, Puebla	31
POLICULTIVOS.....	34
MILPA	35
MAÍZ INTERCALADO CON ARBOLES FRUTALES (MIAF)	37
METEPANTLE	39
MONOCULTIVO	41
BOSQUE (PINO-ENCINO)	41
9.3 Conocimientos campesinos de las prácticas agroecológicas.....	42
Encuestas y conocimientos campesinos	42
Saberes campesinos.....	49
9.4 Estimación de carbono orgánico del suelo (COS) en los sistemas agroecológicos de la microcuenca Atlautla, Puebla.....	49
Caracterización física-química de suelo	49
Carbono orgánico del suelo (COS)	56
9.5 Relación de la concentración de COS con el manejo de los sistemas agroecológicos.	65
Dimensión económica y carbono orgánico del suelo.....	66

Dimensión sociocultural y carbono orgánico del suelo.....	66
Dimensión técnico-productivo y carbono orgánico del suelo	68
Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM)	70
X. CONCLUSIONES	78
10.1 Evaluación de la recarbonización del suelo en los agroecosistemas de la microcuenca Atlauta ...	78
XI. LITERATURA CITADA	82
XII. ANEXOS	95
Anexo1: formato para descripción de agroecosistemas (Ruiz <i>et al.</i> ,1999).....	95
95	
Anexo 2: Formato de ENCUESTA	96
Anexo 3: formato de Entrevista semiestructurada (guía de preguntas).....	98
Anexo 4: Validación de encuesta	100
Anexo 5: Tablas de ANOVA para un solo factor (Agroecosistemas x COS Mg/ha)	101
Anexo 6 Tablas de indicadores, dimensiones y atributos	102
Anexo 7: Matriz de datos de las dimensiones sociocultural y estado de conservación del suelo	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales beneficios del manejo sostenible del carbono del suelo en varias escalas espaciales. Fuente: FAO (2002).	8
Figura 2. Ubicación geográfica de la microcuenca Atlautla, Puebla, México	15
Figura 3. Hidrología de la subcuenca.	16
Figura 4. Edafología de la subcuenca.....	17
Figura 5. Uso de suelo de la subcuenca.	18
Figura 6. Climatología de la subcuenca.	19
Figura 7. Diagrama de reloj para la colecta de muestras de suelo (Hernández <i>et al.</i>, 2014).	22
Figura 8. Orden de formulación de preguntas en una entrevista (Hernández-Sampieri, 2014)	23
Figura 9. Acercamiento a campesinos para colaborar e identificar el manejo de sus cultivos.	29
Figura 10. Tipos de agroecosistemas seleccionados para la investigación.....	29
Figura 12. Sitio de muestreo, localizados y georreferenciados en la microcuenca	30
Figura 11. Sitios y toma de muestra	30
Figura 13. Descripción del perfil en la microcuenca Atlautla, Puebla. Tomado de Aguilar-Jiménez (2022).	32
Figura 14. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema Milpa	37
Figura 15. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema MIAF.....	39
Figura 16. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema metepantle.....	41
Figura 17. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema monocultivo	41
Figura 18. Número de agricultores y tipo de propiedad. El ejido es la propiedad con mayor número de agricultores.	46
Figura 19. Número de agricultores y tipo de sistema. El policultivo (milpa) primer lugar, seguido del sistema MIAF.	46
Figura 20. Número de agricultores y tipo de semilla que usan. La criolla es la más elegible, pero la diferencia es muy poca.....	46
Figura 21. Tipo de fertilizante utilizado por los agricultores, la mayoría de ellos prefiere utilizar una combinación entre lo natural y lo químico	47
Figura 22. Fases lunares. El 65% de los campesinos no se basan en las fases lunares para el cultivo	47
Figura 23. Agricultores y herramienta para preparar el suelo. El rastrillo-tractor son los más utilizados.	47
Figura 24. Agricultores y técnica tradicional. El número de agricultores que usan técnicas tradicionales es similar.	48

Figura 25. Tabla de contingencia entre los sistemas de cultivo y las técnicas tradicionales en frecuencia y porcentaje. En general todas las técnicas tienen una presencia similar en los sistemas, el policultivo (milpa) es sistema con más técnicas (58.8%) y la cobertura vegetal es la más utilizada en los sistemas (29.4%).	48
Figura 26. Textura del suelo en las parcelas y clasificación conforme al porcentaje de arena, limo y arcilla.	52
Figura 27. pH del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.....	53
Figura 28. Conductividad eléctrica del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.	53
Figura 29. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.	55
Figura 30. Bases intercambiables del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.	55
Figura 31. Relación C: N.....	55
Figura 32. Relación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica en los sitios muestreados.	57
Figura 33. Porcentaje de materia orgánica (MOS) del suelo en las parcelas muestreadas. Los resultados son el promedio de tres replicas.	58
Figura 34. Estimación de COS para cada agroecosistema, la prueba ANOVA predice un p-valor= 0.00 a un nivel de confianza de $\alpha=0.05$ por lo que hay diferencias significativas en la cantidad de COS en los sistemas. De acuerdo a la prueba de TUKEY ($\alpha=0.05$) las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.....	59
Figura 35. Estimación de COS por sistema (a). La prueba ANOVA predice un p-valor= 0.66 a un nivel de confianza de $\alpha=0.05$ por lo que no hay diferencias significativas en la cantidad de COS. De acuerdo a la prueba de TUKEY (b) ($\alpha=0.05$) las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.....	60
Figura 36. Cantidad de carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas y clasificación (Vela et al., 2012).	61
Figura 37. Mapa de materia orgánica en la Microcuenca Atlautla, los valores de MO son de acuerdo a la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los números representan los quince sitios de muestreo.....	63
Figura 38. Mapa de carbono orgánico del suelo en la Microcuenca Atlautla, la clasificación de COS es de acuerdo a la propuesta de Vela et al (2011). Los números representan los quince sitios de muestreo.	64
Figura 39. Aplicación de entrevistas semiestructuradas en campo a los campesinos.	65
Figura 40. Gráfico radial de la Dimensión económica, atributo seguridad alimentaria e indicadores. ..	66

Figura 41. Gráfico radial de la Dimensión sociocultural, atributo redes sociales e indicadores.	67
Figura 42. Gráfico radial de la Dimensión técnico-productivo, atributo estado de conservación del suelo y salud de cultivo e indicadores.	69
Figura 43. Gráfico radial de la Dimensión técnico-productivo, prácticas de manejo sociocultural e indicadores.....	70
Figura 44. Distribución de variables cualitativas en la dimensión (Dim) 1 y 2 del análisis de correspondencia múltiple (PRTR= preparación del terreno, MAARV= manejo de arvenses, PRCON= prácticas de conservación, FERT= fertilización, COS= carbono orgánico del suelo, PLAYENF= manejo de plagas y enfermedades, INSFER= insumos para la fertilización). (DIMENSION SOCIOCULTURAL).	72
Figura 45. Distribución de las categorías de las variables (PRTR= preparación del terreno, MAARV= manejo de arvenses, PRCON= prácticas de conservación, FERT= fertilización, COS= carbono orgánico del suelo, PLAYENF= manejo de plagas y enfermedades, INSFER= insumos para la fertilización). (DIMENSION SOCIOCULTURAL).	73
Figura 46. Representación de individuos y categorías. Los puntos representan los agroecosistemas (1-12) y los triángulos las categorías de las variables (PRTR= preparación del terreno, MAARV= manejo de arvenses, PRCON= prácticas de conservación, FERT= fertilización, COS= carbono orgánico del suelo, PLAYENF= manejo de plagas y enfermedades, INSFER= insumos para la fertilización). (DIMENSION SOCIOCULTURAL).	74
Figura 47. Distribución de variables cualitativas en la dimensión (Dim) 1 y 2 del análisis de correspondencia múltiple (COBS= cobertura del suelo, MO= materia orgánica, DVSP= diversidad de especies, COS= carbono orgánico del suelo, VGCIR= vegetación circundante, EMPINSORG= empleo de insumos orgánicos). (DIMENSION ESTADO DE CONSERVACIÓN DE SUELO).	75
Figura 48. Distribución de las categorías de las variables (COBS= cobertura del suelo, MO= materia orgánica, DVSP= diversidad de especies, COS= carbono orgánico del suelo, VGCIR= vegetación circundante, EMPINSORG= empleo de insumos orgánicos). (DIMENSION CALIDAD DE SUELO).	76
Figura 49. Representación de individuos y categorías. Los puntos representan los agroecosistemas (1-12) y los triángulos las categorías de las variables (COBS= cobertura del suelo, MO= materia orgánica, DVSP= diversidad de especies, COS= carbono orgánico del suelo, VGCIR= vegetación circundante, EMPINSORG= empleo de insumos orgánicos). (DIMENSION ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL SUELO).	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aspectos socioeconómicos (INEGI, 2015).	21
Tabla 2. Modelo de indicadores de calidad con dimensiones, atributos e indicadores, determinantes para la relación entre COS y manejo de los agroecosistemas.	27
Tabla 3. Sitios de muestreo, contiene datos de ubicación, localidad, agroecosistema, y tipo de agricultura.	31
Tabla 4. Descripción de los Agroecosistemas en la Microcuenca Atlauta. La orografía está determinada por su ubicación con respecto a la Sierra Nevada en la parte oriental del Eje Volcánico Transversal, y altura sobre el nivel del mar oscila entre los 3 000 y 2 100 metros, con temperaturas entre 8 y 16 °C y precipitación de 200 a 900 mm. Los climas son el templado subhúmedo con lluvias en verano y el semifrío con lluvias en verano (INEGI, 2012).	33
Tabla 5. Clasificación de saberes campesinos.	49
Tabla 6. Pruebas físico-químicas mediante la NOM-021-SEMARNAT-2000.	50
Tabla 7. Características físicas del suelo de las parcelas. Densidad aparente, porcentaje de humedad (%H₂O) y fragmentos gruesos (%FG). Los resultados son el promedio de tres replicas ± la desviación estándar.	50
Tabla 8. Relación carbono/nitrógeno en los agroecosistemas	55
Tabla 9. COS: carbono orgánico del suelo (Mg/ha), C (%): porcentaje de carbono, DAP: densidad aparente del suelo, FG: fragmentos gruesos.	56
Tabla 10. Estadística descriptiva de los sistemas evaluados	59

AGRADECIMIENTOS

A Dios gracias porque Él da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia Proverbios 2:6

Al posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias (ICUAP) por darme la oportunidad de realizar el trabajo de investigación y abordar los problemas ambientales desde un actuar crítico e interdisciplinario, con una visión integral para contribuir en el manejo y conservación de los recursos naturales del país.

Al consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por haberme otorgado la beca de Maestría para obtener mis estudios de posgrado.

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

Agradezco a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Eje IV. Modelo de Investigación abierta y compartida.

Objetivo 13. Formar recursos humanos que impacten positivamente el contexto social y científico como consecuencia de su accionar en una comunidad para lograr una educación desarrolladora de la transformación. Indicar establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2021-2025.

A la Dra. Rosalía Castelán Vega, directora de esta tesis, por su guía en la realización de este trabajo, por su valioso tiempo y colaboración. También agradezco al Dr. Víctor Tamaríz por compartir su conocimiento y enriquecer el trabajo de campo con su experiencia.

Al honorable Comité Tutoral, por sus aportaciones y siempre comentarios constructivos en este trabajo de investigación.

A mis amigos y compañeros de la Maestría.

Dedicatoria

Dedico este ejemplo de pasión por la investigación a mi familia y especialmente a mis padres:

Alberto Gómez García y Maricela Otamendi Barraza. Porque no podría elegir mejores padres y he sido bendecido con ustedes. Gracias por su apoyo y la fe depositada en mi ante cualquier meta que me propongo. La tesis la escribí yo, pero ustedes fueron parte de mi inspiración para lograrlo. Los amo.

.

I. INTRODUCCIÓN

El fenómeno del cambio climático está generando una crisis ambiental que compromete la vida en el planeta, los resultados por el aumento de la temperatura se han reflejado particularmente en inundaciones, sequías, incendios, y en la pérdida de la biodiversidad a escala global.

Las acciones puestas en marcha a nivel mundial tienen como objetivo la mitigación del cambio climático, evitando y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero -que atrapan el calor- hacia la atmósfera para evitar que el planeta se caliente de manera más extrema (WWF, 2019). Los problemas ambientales, interconectados con todo el sistema social, económico, político, etc. deben resolverse mediante una estructura armónica entre los diferentes gobiernos.

Dentro de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, en el objetivo trece sobre combatir el cambio climático, las metas disponibles son fortalecer la resiliencia y la adaptación ante los riesgos relacionados al clima; además, el objetivo dos busca asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo (Naciones Unidas, 2018). A través de la investigación se puede abrir paso rumbo a esas metas establecidas. Mantener la reserva de carbono orgánico del suelo (COS) en equilibrio o incrementar su contenido (recarbonización) hacia el nivel óptimo para el entorno local puede contribuir a lograr los objetivos de desarrollo sustentable (FAO, 2017; 2019).

El carbono orgánico reservado en el suelo es una de las vías de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), si bien el dióxido de carbono posee una menor potencia en la retención de calor que otros GEI (CH_4 , N_2O) es el primero por volumen de emisiones (Burbano-Orjuela, 2018). Los sistemas terrestres juegan un papel importante en la retención y captura de CO_2 ; particularmente, las prácticas agroecológicas han demostrado ser eficientes en el aumento de la resiliencia al cambio climático e incluso con beneficios económicos (Altieri y Nicholls, 2013). Por otro lado, el cambio de uso de suelo, particularmente para agricultura y ganadería ha llevado a su deterioro y por consecuencia a los efectos negativos de la emisión de GEI.

Sistemas tradicionales de manejo, en combinación con estrategias agroecológicas, pueden ser una ruta viable para incremento de la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia (Altieri, 2002). En México existe una gran diversidad de culturas y, por ende, un bagaje de conocimientos ancestrales importantes en la relación hombre-naturaleza, particularmente en el manejo de los sistemas de cultivo, a través del tiempo los pueblos originarios se han adaptado a los cambios climáticos para evitar pérdidas en su producción.

Al ser este país uno de los centros de domesticación y diversificación de la agricultura, sus territorios se constituyen laboratorios culturales donde se adaptan los agroecosistemas a condiciones adversas a través del conocimiento campesino (Schmidt, 2006). En esta dirección es importante evaluar la concentración de carbono orgánico del suelo (COS) en los agroecosistemas asociados a la microcuenca de Atlautla, su relación con las prácticas agroecológicas y sus efectos en beneficio del suelo.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura en el valle Puebla se sustenta a través de sistemas agroforestales (SAF), en los municipios de esta zona los campesinos emplean sistemas constituidos por milpa y árboles frutales, sistema metepantle y actividades de traspatio (Reyes-Reyes *et al.*, 2020). Estos cultivos están asociados a la microcuenca Atlautla en la parte occidental de la cuenca alta del río Atoyac, dónde la mayor parte de los terrenos de labor están dedicados a la agricultura de temporal, siendo el maíz el cultivo más importante (INEGI, 2015).

A partir de la segunda mitad del siglo pasado, las prácticas antropogénicas de deforestación, la modernización agrícola, los cambios económicos y la urbanización rural asociada a la industrialización, han provocado deterioro de los sistemas campesinos en esta zona (Reyes-Reyes *et al.*, 2020). La transición de los sistemas tradicionales hacia la modernización recae en el uso de monocultivos y agroquímicos como fertilizantes, insecticidas y herbicidas, además de la preparación del suelo mediante maquinaria pesada.

Debido a este cambio en el manejo de los sistemas agrícolas es preciso analizar y revalorizar los saberes tradicionales de la microcuenca, relacionar su influencia con la concentración de carbono orgánico del suelo y con el estado de conservación de los socio-agroecosistemas, analizar la situación de los saberes tradicionales en conjunto con el manejo de los agroecosistemas y establecer su influencia con el almacenaje de carbono orgánico en el suelo.

III. JUSTIFICACIÓN

Los problemas ambientales actuales generan afectaciones en los ecosistemas y a la sociedad. Abordar la complejidad de estas situaciones exige un paradigma holístico y una investigación transdisciplinar (González, 2007), la articulación expresada de estos elementos da como resultado opciones de respuestas para esas consecuencias. El cambio de uso de suelo maximizado, particularmente, por las presiones económicas y el aumento poblacional a nivel mundial, están generando un deterioro no solo del suelo y su capacidad de retención de carbono orgánico, sino que también en la pérdida de conocimiento campesino en prácticas agrícolas, que paradójicamente, en la última década han sido tema de estudio por su potencial como salvadores futuros de la agricultura (Cotler *et al.*, 2016; Altieri y Nicholls, 2013; Altieri y Nicholls, 2012).

Los agroecosistemas pueden funcionar como depósitos de carbono si cumplen con las características de manejo que lo propicien, y en esto tienen injerencia los conocimientos campesinos. De manera muy generalizada, la cantidad de carbono orgánico en el suelo se relaciona positivamente con la cantidad de materia orgánica, y esto a su vez, con prácticas agroecológicas, generando una diversidad de procesos biológicos, físicos y químicos que resultan en beneficios al suelo (menor erosión, más nutrientes, etc.), al productor y el ecosistema en la mitigación del CO₂. Con los argumentos anteriores es pertinente evaluar el carbono orgánico del suelo presente en agroecosistemas de la zona de estudio, y de manera sistemática establecer su relación con el tipo de manejo.

Este trabajo es importante al poner en claro la necesidad de revalorar los conocimientos campesinos, dado que, como conocedores del suelo, no solo trabajan con el ecosistema, sino que se integra a su cosmovisión. En este contexto la investigación pretende aportar la búsqueda de vínculos con los actores principales involucrados en el desarrollo de la investigación a través del dialogo de saberes que permitan amalgamar un conocimiento teórico practico que produzca efectos verdaderamente sustentables. Si existe una sinergia entre los principios agroecológicos, las técnicas sustentables de agricultura, el conocimiento campesino (Altieri, 2013), pueden generarse opciones de cambio a situaciones como baja productividad, erosión del suelo y perdida de nutrientes, pérdida económica y calentamiento global, de ahí la importancia de generar este trabajo de investigación.

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN:

¿Cómo se relaciona la concentración de carbono orgánico del suelo con los sistemas agroecológicos y el conocimiento tradicional campesino de la microcuenca de Atlautla, Puebla?

V. HIPÓTESIS:

El conocimiento tradicional campesino en el manejo agrícola de la microcuenca Atlautla, Puebla, contribuye al aumento y mantenimiento de la concentración del carbono orgánico del suelo.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Analizar la concentración de COS del suelo en diferentes sistemas agroecológicos y su relación con el conocimiento campesino con el manejo agroecológico en la microcuenca Atlautla, Puebla.

6.2 Objetivos específicos

- Describir los sistemas agroecológicos existentes en la microcuenca.
- Identificar los conocimientos campesinos de las prácticas agroecológicas.
- Estimar la cantidad de carbono orgánico del suelo en los sistemas agroecológicos de la microcuenca Atlautla, Puebla.
- Relacionar la concentración de COS con el manejo de los sistemas agroecológicos.

VII. MARCO TEÓRICO

7.1 Antecedentes

7.1.2 Conocimientos campesinos

No hay duda en afirmar que América Latina es basta biológica y culturalmente, de manera particular, la diversidad de formas que toma la subsistencia a lo largo del continente ha sido tema de abundantes estudios.

Nuestro país ha sido reconocido por la riqueza biocultural que sustenta (Pérez-Avilés *et al.*, 2020). Puesto que México se caracteriza por su diversidad cultural, es importante dar reconocimiento al origen de los pueblos indígenas actuales, por su importancia en la relación y trato de la naturaleza. Por ejemplo, los Pueblos nahuas de los volcanes del Valle de Puebla-Tlaxcala (en Puebla Popocatepetl e Iztaccíhuatl, y la Matlalcueyetl compartida con Tlaxcala), que hoy se ven como pueblos dispersos entre los dos estados, tuvieron un pasado común olmeca-xicalanca y luego tolteca-chichimeca. Durante su desarrollo histórico, estos grupos sociales han estado asentados en las márgenes de los ríos y arroyos. “Por eso lo que estos grupos reconocen y denominan generalmente como sus ‘territorios’ coincide con microcuencas hidrográficas (Pérez-Avilés *et al.*, 2020).

En el actual Parque nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl hay 10 municipios poblanos, entre los cuales se encuentran cuatro de las fuentes importantes de indígenas nahuas: Huejotzingo, San Andrés Calpan, Atlixco y Tochimilco, en particular el segundo (inmerso en la microcuenca) es una localidad indígena-rural (SEDESOL, 2014), dónde la mayor parte de los adultos hablan náhuatl y español (Martínez y Hernández, 2016). Ellos poseen una reserva cultural importante, que se resiste al dominio político y económico actual. Por eso la permanencia de prácticas tradicionales colectivas de trabajo y solidaridad entre las comunidades, la herencia de cargos comunitarios y conducción comunal (Pérez-Avilés *et al.*, 2020).

Al hablar sobre los pueblos originarios y de los saberes ancestrales que estos mantienen y los que en su mayoría se han modificado con el tiempo (por ejemplo, el conocimiento campesino), se practican dentro de sus modos de vida, y se hace referencia a cómo estos conocimientos les han permitido mantener y sostener su diversidad de producción agrícola y el abastecimiento de sus alimentos, aprovechando la naturaleza sin dañarla o deteriorarla. A ello se suma su cultura, sus ritos y tradiciones ancestrales que acompañan y marcan el inicio de cultivos, cosechas, crianzas y alimentación, marcados por su espiritualidad y profunda conexión con la naturaleza (Valdivieso, 2017).

Sin embargo, las condiciones de inestabilidad climática, tanto en el régimen de lluvias como en el de temperatura (principalmente heladas y sequías), afectan severamente variables clave para el desarrollo del cultivo y generan impacto en la producción agrícola (Altieri y Nicholls, 2013; Altieri y Nicholls, 2012; Schmidt, 2006).

Un impacto potencialmente significativo del cambio climático para la producción. Temperaturas más altas del aire pueden acelerar la descomposición de materia orgánica, e incrementar las

tasas en otros procesos del suelo que afecten su fertilidad. El manejo de estas adversidades actuales es una preocupación importante de las familias de estos grupos que cultivan muchas veces para su subsistencia (Pérez-Avilés *et al.*, 2020; Altieri y Nicholls, 2008).

Por otro lado, el crecimiento de la metrópoli genera fuentes puntuales de riesgo de contaminación de ríos y suelos, entre otras, la industria petroquímica, los rellenos sanitarios, los rastros, la modernización en agricultura, modifican y dañan severamente desde hace décadas el medio natural de los valles que, a pesar de ello, aún resiste gracias a la riqueza de sus suelos, a la dotación de agua procedente de los escurrimientos de las grandes montañas y a la riqueza cultural de los grupos étnicos que persiste (Pérez-Avilés *et al.*, 2020).

Haciendo referencia al área de estudio, las prácticas de deforestación, la modernización agrícola y la urbanización rural asociada a la industrialización, han provocado el deterioro de los sistemas campesinos (Reyes-Reyes *et al.*, 2020). Aunado a esto la alta marginación de la población y las diversas manifestaciones de desigualdad social y económica pone en desventaja a la población indígena (Castelán *et al.*, 2014).

Es de sobra conocido cómo las comunidades indígenas han aprendido a observar ciertas señas que brinda la naturaleza, una serie de prácticas y saberes muy ingeniosas que definen cómo sembrar y el manejo ecológico que se le debe dar no sólo al suelo sino al agua, a los cultivos, a las crianzas y que se han observado como claves para la sostenibilidad en diferentes agroecosistemas (Valdivieso, 2017; Altieri, 2010). En este contexto, la adaptación y resistencia a estas situaciones cambiantes, mencionadas en párrafos anteriores, por parte de las culturas locales y de los pueblos indígenas se da cuando éstas logran mantener su autonomía y retener el control de los procesos de cambio. (Schmidt, 2006).

En la zona Izta-Popo algunos ecosistemas conservados, corresponden a la presencia de grupos indígenas y campesinos, y con ello se intuye su papel de protectores del medio ambiente (Pérez-Avilés *et al.*, 2006).

Actualmente no sólo en el Valle de Puebla, sino en el estado, los elementos tecnológicos, económico, y demográficos cada vez más alteran los espacios rurales, transgrediendo su originalidad. A pesar de ello, todavía los campesinos, ejercitan sus saberes, permitiendo la sustentabilidad agrícola, que coadyuva en la conservación de la calidad de los suelos y la biodiversidad a través de las diferentes dimensiones: social, ambiental y económica como fundamento holístico del saber campesino (Canejo-Ruiz, 2018). Razón más que suficiente para preservar los conocimientos campesinos en el manejo de los sistemas de cultivo, a través de una complementariedad científica y un dialogo de saberes producto de la transdisciplina, que dé como resultado una exitosa resiliencia ante los problemas actuales y los que se avecinan si no se hace más investigación al respecto, con el propósito de responder a una parte de la crisis ambiental en curso, a través del conocimiento de este sistema complejo.

7.1.3 Carbono orgánico del suelo

Es un hecho que el suelo es un gran reservorio de carbono en la naturaleza (segundo después de los océanos), y el COS es un componente de importancia en el ciclo global del carbono (C) (Bolívar, 2021; Labrador, 2012; Baldock, 2007).

Se estima que la reserva de COS almacena 1 500 PgC en el primer metro de suelo, lo cual supone más carbono que el contenido en la atmósfera (Burbano-Orjuela, 2018; FAO, 2017; Baldock, 2007). Este extraordinario reservorio de COS no es estático, sino que está constantemente circulando entre las diferentes reservas mundiales de carbono en formas moleculares diversas (FAO, 2017).

El carbono orgánico del suelo existe como una mezcla heterogénea de materiales orgánicos, moléculas poliméricas y trozos de residuos vegetales y microbianos (Baldock, 2007). Al ser el COS el principal elemento de la materia orgánica del suelo (MOS) es imprescindible hablar de uno y del otro.

En conjunto con el CO₂ atmosférico, el material orgánico muerto es incorporado al suelo por la flora y fauna, respectivamente, lo que conlleva la entrada de carbono en el suelo a través de la transformación del material orgánico por microorganismos. Este proceso de transformación de estos materiales da como resultado una mezcla biogeoquímica compleja de residuos vegetales y productos de descomposición microbiana en varias etapas de descomposición (Von Lützow *et al.*, 2006; Paul, 2014) que pueden asociarse con minerales del suelo y ocluirse dentro de agregados, permitiendo la persistencia del COS en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios (Schmidt *et al.*, 2011). Eventualmente el CO₂ se emite de vuelta a la atmósfera cuando la materia orgánica del suelo (MOS) es descompuesta (o mineralizada) por microorganismos.

Finalmente, el carbono también es parcialmente exportado de los suelos a ríos y océanos como carbono orgánico disuelto o como parte del material de erosión. Sin embargo, si la concentración de dióxido de carbono sigue aumentando, se propiciará que los microorganismos edáficos descompongan con mayor rapidez la MOS y como consecuencia liberar más CO₂ (Burbano-Orjuela, 2018). De manera muy generalizada la materia orgánica se encuentra en función de la biomasa y la velocidad catabólica de la misma, si la tasa de descomposición es mayor a la adición de biomasa, disminuye la MOS, como se ha señalado en áreas de cultivos (Burbano-Orjuela, 2018; Altieri y Nicholls, 2013; Altieri y Nicholls, 2012).

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (p. ej. producción y economía) como en sus funciones ambientales, entre ellas captura de carbono y calidad del aire (FAO, 2002). La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica. La MOS y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996). La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo, así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (FAO, 2002).

Cuando se traslada la teoría al lugar de la práctica, el manejo del suelo y de los cultivos puede mejorar en forma importante el tiempo de residencia y el almacenamiento del COS. Un aumento en la captura de carbono causa un incremento en la biodiversidad activa y un funcionamiento más efectivo de los elementos biológicos del suelo (Labrador, 2012; FAO, 2002).

De manera alentadora la captura de carbono y el aumento de la materia orgánica del suelo tendrán un impacto directo sobre la calidad y la fertilidad de los suelos y, por consiguiente, la conservación del suelo y la prevención de la degradación de la tierra se percibirán cada vez más como beneficios concretos a diferentes escalas (Figura 1) (FAO, 2002).

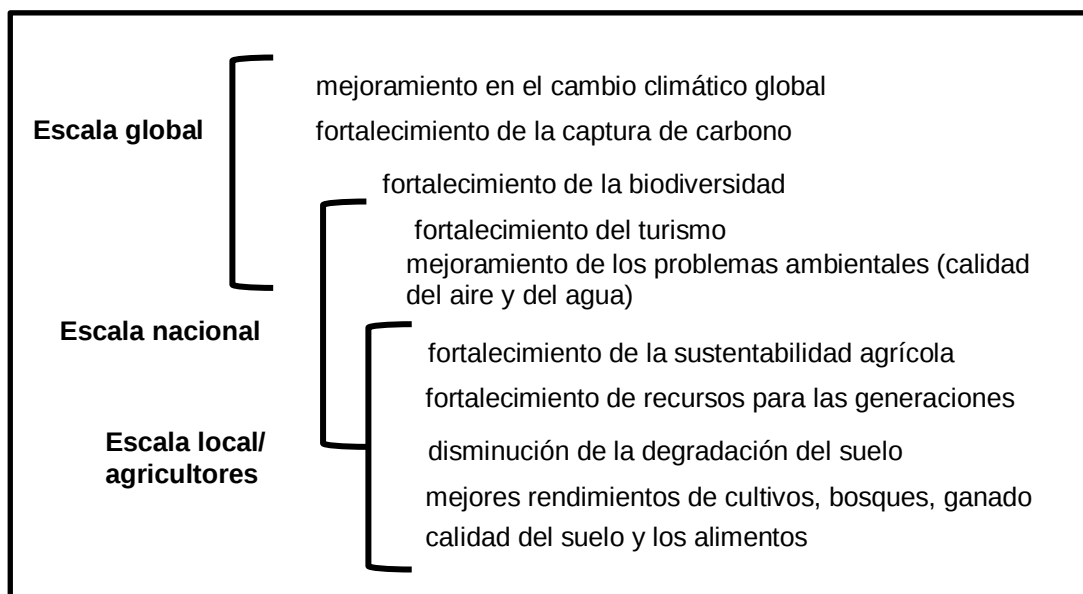


Figura 1. Principales beneficios del manejo sostenible del carbono del suelo en varias escalas espaciales. Fuente: FAO (2002).

Puesto que los suelos se han degradado sustancialmente y que la mayoría responde a las actividades agrícolas, ha sido necesario identificar el potencial de recarbonización existente a través del manejo sostenible (FAO, 2019). La recarbonización se centra en la restauración de las reservas de carbono del suelo, que en conjunto con prácticas de manejo de la vegetación y suelo pueden recarbonizar la biosfera (Lal *et al.*, 2012).

Las tierras de cultivo, particularmente pueden recarbonizarse parcialmente mediante la adopción de prácticas sustentables, como la labranza de conservación, el acolchado de residuos y el uso de cultivos de cobertura (Lal *et al.*, 2012). En nuestro país comienza a adoptarse este término recientemente, en la publicación de un boletín informativo por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (uaeh.edu.mx/noticias/6600/) hacen referencia a que el secretario de la Alianza Mundial por el Suelo de la FAO junto con la SADER desarrollaron el proyecto RECSOILMEX (recarbonización del suelo mexicano), el cual busca la recarbonización de los suelos del país, con la finalidad de combatir el cambio climático y sus efectos.

Actualmente se está generando gran cantidad de investigación haciendo hincapié en la relación del carbono orgánico del suelo, el manejo de los sistemas agroecológicos y su efecto en la mitigación del dióxido de carbono frente al cambio climático, algunos de estos se presentan en el siguiente apartado.

7.1.4 Cambio climático y el rol del manejo en sistemas agroecológicos para la mitigación de CO₂

A través de la historia se han clarificado las evidencias de una alteración climática mundial sin precedentes, el incremento en el promedio global de la temperatura, ha provocado un conjunto de fenómenos y circunstancias que se denominan cambio climático (Burbano-Orjuela, 2018; Caviglia, 2016; Altieri y Nicholls, 2008; IPCC, 2007).

El cambio climático debe ser entendido sobre una base de aproximaciones diferenciadas en un conjunto de variables energéticas, culturales, sociales, económicas, políticas y ecológicas. Por ello, la interacción entre las ciencias sociales y biológicas adquiere gran relevancia para acercarnos a estos complejos sistemas en un enfoque holístico (Schmidt, 2006).

Por los modelos generados por las investigaciones sobre el cambio climático se han predicho los efectos y consecuencias que están asociados al calentamiento del planeta. Uno de los sectores que se está viendo afectado es la agricultura, indistintamente si es industrializada o convencional, sin embargo, la respuesta a estos cambios si puede variar entre los diferentes sistemas de cultivo.

Dentro de las consecuencias por este calentamiento esta la temperatura alta del aire que pueden acelerar la descomposición de materia orgánica, e incrementar las tasas en otros procesos del suelo que afecten su fertilidad (Altieri y Nicholls, 2008). El deterioro de las tierras agrícolas, en la zona Izta-Popo, ha sido percibido por los productores, quienes han experimentado pérdidas económicas en sus unidades de producción a causa de una disminución de la fertilidad del suelo, no obstante, el principal factor de las pérdidas sufridas, se ha debido a los factores climáticos (Pérez-Avilés *et al.*, 2020). Dado que los suelos proporcionan múltiples servicios ambientales en las últimas décadas han tenido una importante atención por su interacción principalmente con el sistema climático del planeta.

En nuestro país, como en muchos otros, el manejo del riesgo es una preocupación importante de las familias rurales ante tales cambios ambientales, el único mecanismo seguro disponible para estos agricultores se deriva del uso de autogestión inventiva, conocimiento propio (conocimiento campesino), y el uso de recursos locales disponibles (Altieri y Nicholls, 2008).

Las condiciones de inestabilidad climática, tanto en el régimen de lluvias como en el de temperatura (principalmente heladas), está, desde hace tiempo, obligando a los pueblos indígenas a desarrollar varias estrategias agrícolas basadas en sus conocimientos autónomos y algunos ayudados de los principios agroecológicos reformados por las ciencias agrónomas.

Dichas estrategias, expuestas en trabajos de investigación, se centran en producir cantidades moderadas de una amplia gama de cultivos y especies naturales para enfrentar la diversidad

geográfica, biótica y los ciclos anuales climáticos., los policultivos se impulsan principalmente para minimizar los riesgos y garantizar suficiente bioenergía para el desarrollo de la siembra, además de la protección biológica ante las plagas, también fomentar a través del manejo del suelo la estabilidad de los agregados que protejan de la descomposición química y microbiana, el incremento de la MOS por sus propiedades y funciones amortiguadoras, de recuperación y sostenibilidad, de igual forma la cobertura vegetal, labranza mínima o cero, los sistemas agroforestales, la cosecha de agua, etc. son estrategias campesinas de minimización de riesgos frente a condiciones inciertas del cambio climático (Bolívar, 2021; Burbano-Orjuela, 2018; Caviglia, 2016; Altieri y Nicholls, 2013; Cotler y Etchevers, 2016; Quin *et al.*, 2013; Altieri y Nicholls, 2012; Altieri y Nicholls, 2008; Schmidt, 2006).

Sin duda a través de la historia muchos de los pueblos originarios practican la agricultura frente a otras prácticas agrícolas agroindustriales. No obstante que parte de la agricultura tradicional se utiliza en la agricultura industrial, elementos de esta última (fertilizantes, semillas, plaguicidas, mecanización profunda, etcétera), han en permeado varios ámbitos de la agricultura indígena (Schmidt, 2006).

En México según Cotler (2016), la investigación sobre el carbono conservado en suelos sugiere que los sistemas agroforestales y los de agricultura de conservación (influenciados con los conocimientos campesinos) tienen estrategias para la mejora de la calidad de suelos, mediante incrementar el contenido de carbono, la eficiencia del uso de agua, control de las malezas, reducción de costos económicos y la disminución de la erosión de los suelos (Flores-Delgadillo *et al.*, 2011).

Podría considerarse en el estado de Puebla y sus municipios al agroecosistema como el nivel básico de planeación de la sustentabilidad, por ser un área geográfica definida, en la que se establecen relaciones socioeconómicas y ambientales (Castelán *et al.*, 2014). Investigaciones realizadas indican que el Valle de Puebla tradicionalmente ha sido una zona productora de maíz de temporal (López *et al.*, 2018; Osorio-García *et al.*, 2015). Al igual que la actividad pecuaria, la fruticultura es una práctica añeja en la región. En los sistemas de cultivo existen diferentes especies de frutales (por ejemplo: durazno, ciruelo, tejocote, capulín, nogal, perales, chabacanos y manzanos), que se cultivan alternadamente con cultivos básicos anuales (Osorio-García *et al.*, 2015).

En el municipio de San Andrés Calpan, como parte de la zona de estudio, los campesinos emplean sistemas constituidos por milpa y árboles frutales, sistema metepantle, además de actividades de traspatio (Reyes-Reyes *et al.*, 2020). Los cultivos están asociados a la microcuenca Atlautla en la parte occidental de la cuenca alta del río Atoyac, dónde la mayor parte de los terrenos de labor están dedicados a la agricultura de temporal, siendo el maíz el cultivo más importante (INEGI, 2015).

En el trabajo de López *et al* (2019) se demuestran algunas estrategias en el manejo de agroecosistemas que tienen los productores en Calpan, entre los que se destacan (por su importancia en la producción y el manejo del suelo): selección de semilla criolla después de la cosecha, utilización de estiércol (mejora la estructura del suelo y con ello aumentan la capacidad de retención de agua), la asociación maíz-leguminosas, como el frijol (*Phaseolus*

vulgaris L.) y haba (*Vicia faba* L.) según los autores las asociaciones potencian la productividad del suelo, ya que limitan los problemas de plagas y enfermedades, también rotación de cultivos, técnica que les permite romper el ciclo biológico de plagas. Además, prácticas de conservación de suelos y agua, terrazas y bordos, que les permite preservar insumos, así como los nutrientes y su reciclaje, los cuales son básicos para mejorar las capacidades productivas de los suelos agrícolas.

Es importante destacar que recientemente se ha reportado que surgen factores que condicionan la actividad agrícola como son: la superficie de la cual se dispone en la unidad de producción y el nivel de escolaridad de los agricultores. El tipo de maíz criollo más comúnmente sembrado por los agricultores fue el maíz blanco, debido a que reúne características como mayor adaptación a las condiciones climáticas adversas y mayor rendimiento (Osorio-García *et al.*, 2015). Además, que debido a las afectaciones climáticas en la producción las familias buscan otras opciones como la pluriactividad (López *et al.*, 2019; Martínez y Hernández, 2016; Osorio-García *et al.*, 2015).

Considerando que en la zona de estudio algunos sistemas agroforestales se están alejando del vínculo de las interacciones de la naturaleza y la productividad que ofrece (Reyes-Reyes *et al.*, 2020), también es consistente que los conocimientos tradicionales siguen presentes y se complementan con las prácticas y recursos provenientes de los conocimientos científicos (López *et al.*, 2019).

Debido a la zona geográfica, es importante considerar el recurso hídrico asociado al manejo de los agroecosistemas. A nivel nacional 12.4% del territorio no sólo es ocupado por pueblos indígenas, sino que una parte importante de ellos se encuentran en las cabeceras de las cuencas y subcuencas (como es el caso del área de estudio de este trabajo) (Schmidt, 2006).

Lo anterior significa que un gran porcentaje del agua es capturada en estos territorios, por lo que según Reyes-Reyes (2020) y Schmidt (2006) es un tema que no ha sido reconocido por la sociedad en general, ni por las instituciones encargadas de elaborar las políticas públicas en lo que se refiere al pago por servicios ambientales. Igualmente, se trata de zonas frágiles con alto riesgo por eventos extraordinarios, como son las lluvias intensas provocadas por los huracanes, que necesariamente repercuten en las comunidades indígenas debido a los deslizamientos, la pérdida masiva de suelo fértil, así como por las cosechas. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta la interacción del manejo de los agroecosistemas asociados a la microcuenca.

En adición a la información referida anteriormente, en el estado de Puebla el gobierno y sus proyectos de modernización han provocado cambios a su interior y periferia, empresas que han llegado para establecerse, amenazan con cambiar el entorno, el modo de vida y el medio ambiente de varios de los municipios que se encuentran en circunstancias complicadas, ya que el mismo gobierno no vela por sus intereses (Hernández, 2015). Estas circunstancias claramente permean dentro de la agricultura.

7.2 Marco conceptual

7. 2.1 Teoría que soporta la investigación

Más importante aún que definir el concepto del sistema como tal, es esencial reconocer sus características, especialmente cuando agregamos la complejidad al sistema. Un sistema como modelo de la interacción de las partes con el todo y el todo en cada una de las partes, y ambos inseparables, formando, interconexiones, es lo más utilizado de manera general. Cuando se habla de sistemas complejos nos aproximamos a la representación de la nuestra realidad, que se busca conceptualizar considerando lo objetivo, lo subjetivo, no aislado, todo organizado en un orden y un desorden que mantiene el desequilibrio y equilibrio en una evolución dinámica del sistema complejo, a través de la cosmovisión biofísica y cultural-social del ser humano generando antagonismos y complementariedad en la búsqueda de la comprensión de una pequeña parte de una realidad “compleja”.

Cuando se aplican investigaciones con el paradigma de la complejidad se aborda la interdisciplinariedad, no como una aportación independiente ni la suma de disciplinas, si no entre ellas, la asociación debe producirse de la interconexión, de la comprensión del objeto de estudio en un sistema complejo (Martínez y Esparza, 2020; Becerra, 2019; García, 2006).

Abordar los problemas del ecosistema como sistemas complejos (paradigma actual revolucionario) y como objetos de estudio está siendo exigido por las ciencias ambientales. Por lo que sería estéril tratar de realizar la investigación sin la inter y transdisciplina. Dicho esto, el presente trabajo debe describir las relaciones entre los organismos y su medio ambiente (considera aspectos biológicos, físicos, químicos), analizar la microcuenca como espacio geográfico, entender la necesidad de las actividades humanas dedicadas al uso de los recursos naturales, particularmente el suelo, con fines alimenticios y económicos.

Ha sido esencial la descripción de los sistemas de agricultura en la zona de estudio, en el análisis de las prácticas locales y su influencia en el suelo y muy importante el grado de sustentabilidad asociado a estos procesos. También es requerido observar la relación humano-naturaleza en sus aspectos sociales, culturales, generacionales, como se comporta la sociedad, sus conocimientos y preocupaciones ante los problemas ambientales e incluso sus aproximaciones a soluciones.

La metodología de trabajo interdisciplinario (abordar problemas por sistemas complejos) responde a la necesidad de lograr una síntesis integradora de los elementos de análisis provenientes del objeto de estudio, el marco conceptual y los estudios disciplinarios. El objetivo es llegar a una *interpretación sistémica* de la problemática original que presenta el objeto de estudio (García, 2011).

7.2.2 Conceptos utilizados

Conocimiento campesino. - Es el conjunto de conocimientos generados de manera tradicional por una determinada población. Se transmite por la experiencia en forma oral, como por prácticas y técnicas informales, relacionado con valores, creencias, emociones, formas de ver y concebir el mundo, instituciones, rituales, y que persiguen un fin comunitario (Ley 530-Bolivia, 2014).

Los conocimientos/saberes tradicionales son, ante todo, conocimiento. Siguiendo una perspectiva de la epistemología basada en la práctica, un proceso/acto de conocer en tanto actividad humana. La práctica es una condición del conocimiento, el cual está siempre dirigido por intereses concretos, y en tal sentido, ocurre en individuos reales que buscan satisfacer sus necesidades prácticas de orientar sus acciones en el mundo para asegurar su éxito. En todas las sociedades hay prácticas, por ejemplo, económicas, técnicas, educativas, políticas, recreativas y religiosas.

El conocimiento tradicional, lo constituyen saberes que pertenecen un pueblo o comunidad indígena; en general se caracteriza por ser una creación intelectual colectiva, expresada en una lengua particular (Cañas, *et al.*, 2008).

Carbono orgánico del suelo (COS). - El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual implica el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera. El material orgánico muerto (principalmente en forma de residuos vegetales y exudados) es incorporado al suelo por la fauna del mismo, lo que conlleva la entrada de carbono en el suelo a través de la transformación del material orgánico por microorganismos heterótrofos. Este proceso de transformación de materiales orgánicos da como resultado una mezcla biogeoquímica compleja de residuos vegetales y productos de descomposición microbiana en varias etapas de descomposición que pueden asociarse con minerales del suelo y ocurrir dentro de agregados, permitiendo la persistencia del COS en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios. (FAO, 2017; Labrador, 2012).

Materia orgánica del suelo (MOS).- Material orgánico de origen biológico, que procede de alteraciones bioquímicas de los restos de animales, plantas y microorganismos y de compuestos procedentes del metabolismo vegetal y microbiano; que puede encontrarse en el interior del suelo, localizada inter e intra agregados y en la solución; y/o en la superficie del suelo y que presenta distintos estados de transformación derivados de la dinámica del medio vivo, de las interacciones con el medio mineral, de los factores ambientales, del tipo de suelo y de las prácticas de manejo (Labrador, 2012).

El término MOS se utiliza para describir los constituyentes orgánicos en el suelo en diversas etapas de descomposición, tales como tejidos de plantas y animales muertos, materiales de menos de 2 mm de tamaño y organismos del suelo. La renovación de MOS desempeña un papel crucial en el funcionamiento del ecosistema del suelo y el calentamiento global (FAO, 2017).

CO₂-. El dióxido de carbono (CO₂) es el gas carbónico más abundante de la atmósfera. Antes de la era industrial, las concentraciones atmosféricas de CO₂ fluctuaron entre 180 y 290 ppm durante 2.1 millones de años. De forma acumulativa, el aumento atmosférico del CO₂ entre 1750 y 2011 fue de 240 PgC. En 2014, la abundancia atmosférica de CO₂ alcanzó más de 397 ppm, un 40% más alta que antes de la industrialización. El aumento de la concentración atmosférica de CO₂ se atribuye principalmente a la combustión de combustibles fósiles y al cambio del uso de la tierra, especialmente la deforestación (FAO, 2017).

Secuestro de CO₂. - El secuestro de carbono orgánico del suelo es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacena en el suelo. Cuando se trata de CO₂, el secuestro de COS comprende tres etapas: 1) la extracción del CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis de las plantas; 2) la transferencia de carbono del CO₂ a la biomasa vegetal; y 3) la transferencia de carbono de la biomasa vegetal al suelo donde se almacena en forma de COS en la reserva más lábil (FAO, 2017).

Agroecología. - Constituye la base productiva de los movimientos rurales que promueven la soberanía alimentaria y que se enfrentan a las causas que perpetúan el hambre. Se rige de principios agroecológicos (Altieri y Nicholls, 2012). Incorpora ideas sobre un enfoque de la agricultura más ligado al medio ambiente y más sensible socialmente; centrada no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción. Un campo de cultivo es un ecosistema dentro del cual los procesos ecológicos que ocurren en otras formaciones vegetales, tales como ciclo de nutrientes, interacción depredadora/presa, competencia, comensalia y cambios sucesionales, también se dan (Restrepo *et al.*, 2000).

Agroecosistema. - El nivel básico de planeación de la sustentabilidad, por ser un área geográfica definida, en la que se establecen relaciones socioeconómicas y ambientales (Castelán *et al.*, 2014).

7.3 Marco legal

La investigación se fundamenta en los siguientes documentos: CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS- Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917- Título Primero Capítulo I De los Derechos Humanos y sus Garantías- Artículo 2º. La Nación Mexicana es única e indivisible. A. Esta Constitución reconoce y garantiza el derecho de los pueblos y las comunidades indígenas a la libre determinación y, en consecuencia, a la autonomía para: IV. Preservar y enriquecer sus lenguas, conocimientos y todos los elementos que constituyan su cultura e identidad. V. Conservar y mejorar el hábitat y preservar la integridad de sus tierras en los términos establecidos en esta Constitución.

De igual forma conforme a la Ley de Derechos, Cultura y Desarrollo de los Pueblos y Comunidades Indígenas del Estado de Puebla. En el capítulo VII. De Los Recursos Naturales- Artículo 45º- la comunidad indígena y el gobierno implementarán las acciones necesarias para el aprovechamiento sustentable de su medio ambiente- y Artículo 47º- el gobierno del Estado en colaboración con las Comunidades Indígenas promoverán el desarrollo de las prácticas tradicionales indígenas de conservación y explotación de los recursos naturales.

Con fecha de 17 de octubre de 2000 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, con carácter de proyecto la presente Norma bajo la denominación NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreos y análisis.

7.4 Localización del área de estudio

La microcuenca de Atlautla, se localiza entre los paralelos 19° 6' 47" y 19° 9' 2" latitud Norte; los meridianos 98° 31' 28" y 98° 35' 56" longitud Oeste, en las estribaciones del volcán Popocatepetl a 15 km de la capital del estado (Figura 2). Ocupa una superficie aproximada de 334 km² (INEGI, 2015). Abarca parte de los municipios de San Andrés Calpan, Nealtican, San Nicolás de los Ranchos, San Jerónimo, Tecuanipan, Santa Isabel Cholula.

La orografía está determinada por su ubicación con respecto a la Sierra Nevada en la parte oriental del Eje Volcánico Transversal, y su altura con respecto al nivel del mar oscila entre los 3 000 y 2 100 metros, con temperaturas entre 8 y 16 °C y precipitación de 200 a 900 mm. Los climas son el templado subhúmedo con lluvias en verano y el semifrío con lluvias en verano (INEGI, 2012). Respecto a la hidrología, la zona se localiza en la parte alta occidental de la cuenca alta del río Atoyac, y tiene arroyos intermitentes y permanentes provenientes de las estribaciones del Iztaccíhuatl.

La mayor parte de los terrenos de labor están dedicados a la agricultura de temporal, siendo el maíz el cultivo más importante, que ocupa el mayor porcentaje de la superficie total sembrada (INEGI, 2015).

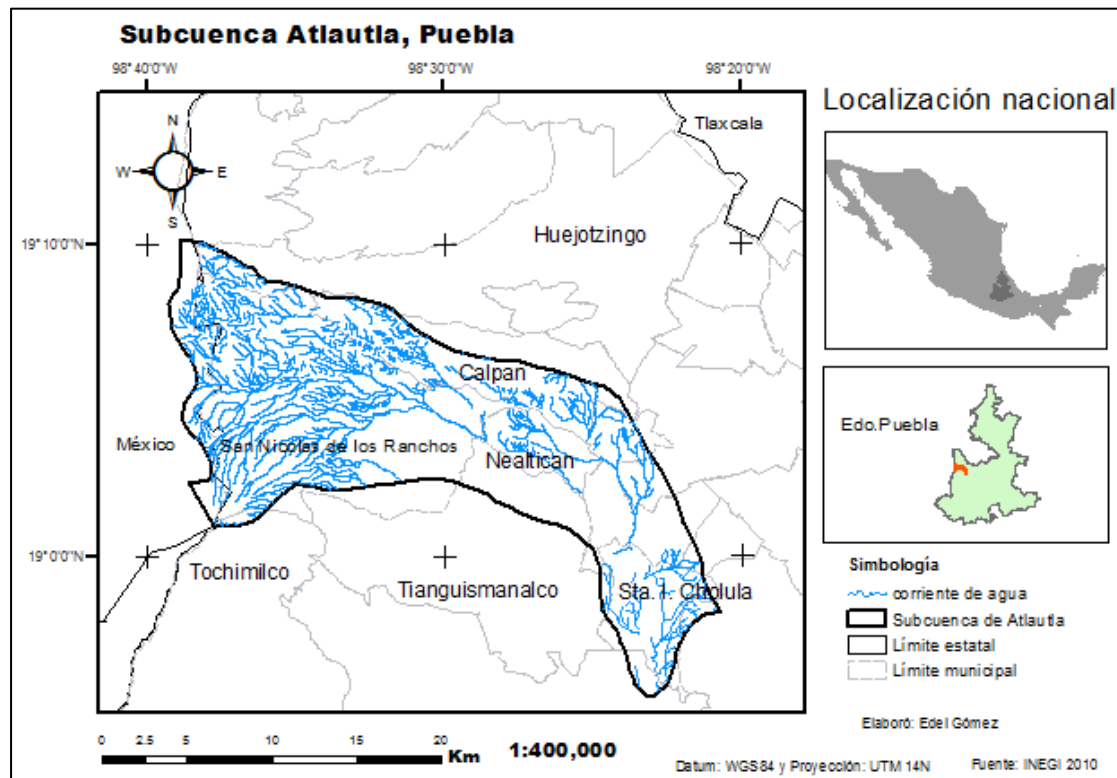


Figura 2. Ubicación geográfica de la microcuenca Atlautla, Puebla, México

7.4.1 Descripción de la zona de estudio

Se elaboraron mapas temáticos de la zona de estudio para realizar la descripción conforme los datos obtenidos de las capas vectoriales proporcionadas por las páginas de INEGI y CONABIO, utilizando un sistema de información geográfica (ArGis) para la elaboración de los mapas. Para la descripción demográfica y socioeconómica se utilizaron datos de CONEVAL, INEGI y CONAPO.

7.4.1.1 Hidrología.

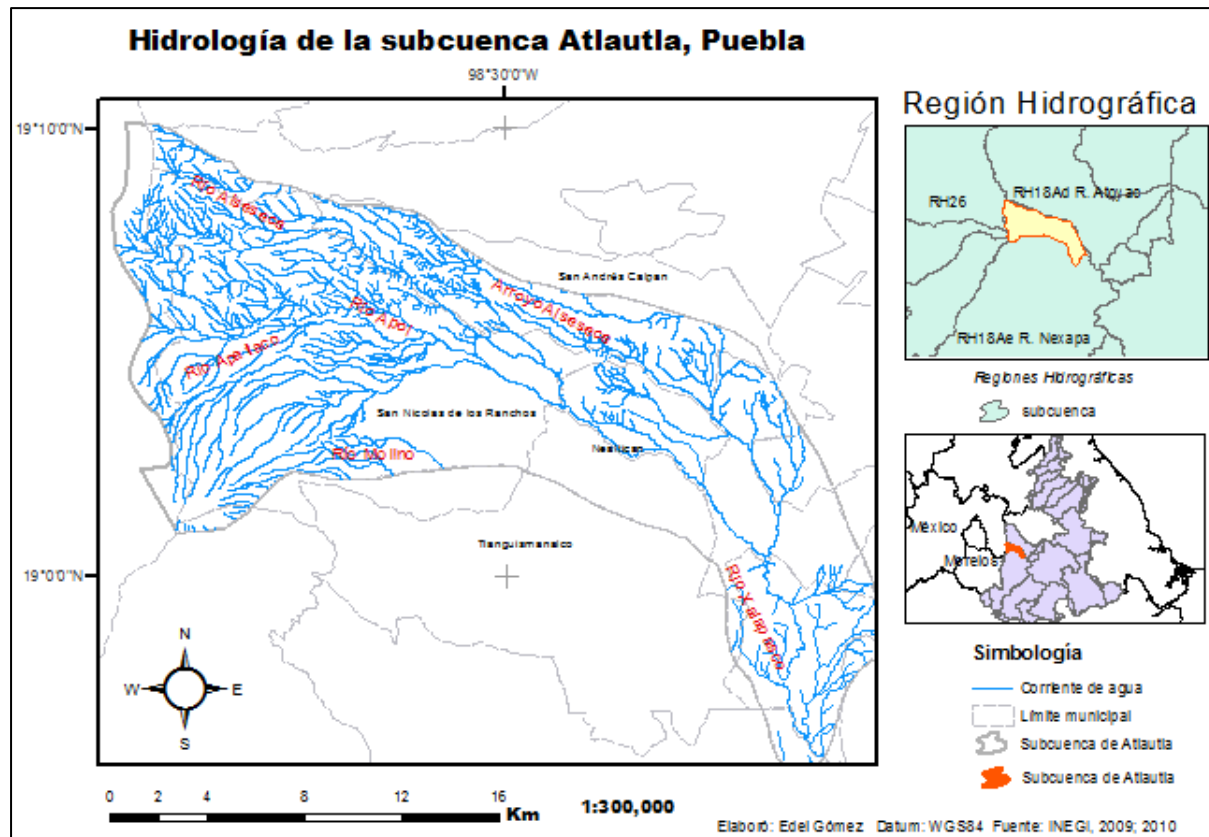


Figura 3. Hidrología de la subcuenca.

La microcuenca pertenece a la Región Hidrológica del Balsas (RH18) y a su vez entre la cuenca del Alto Atoyac y Nexapa. Ocupa una superficie aproximada de 334 km² (INEGI, 2015), que incluye seis municipios del estado de Puebla. La zona se localiza en la parte alta occidental de la cuenca alta del río Atoyac, y tiene arroyos intermitentes y permanentes provenientes de las estribaciones del Iztaccíhuatl. El sistema está conformado por corrientes de aguas permanentes y perennes, entre las primeras está principalmente el río Alseseca, río Apatlaco, río Apol y arroyos como el de Alseseca. Los ríos atraviesan la microcuenca de oeste a este y son tributarios del Alto Atoyac.

7.4.1.2 Edafología.

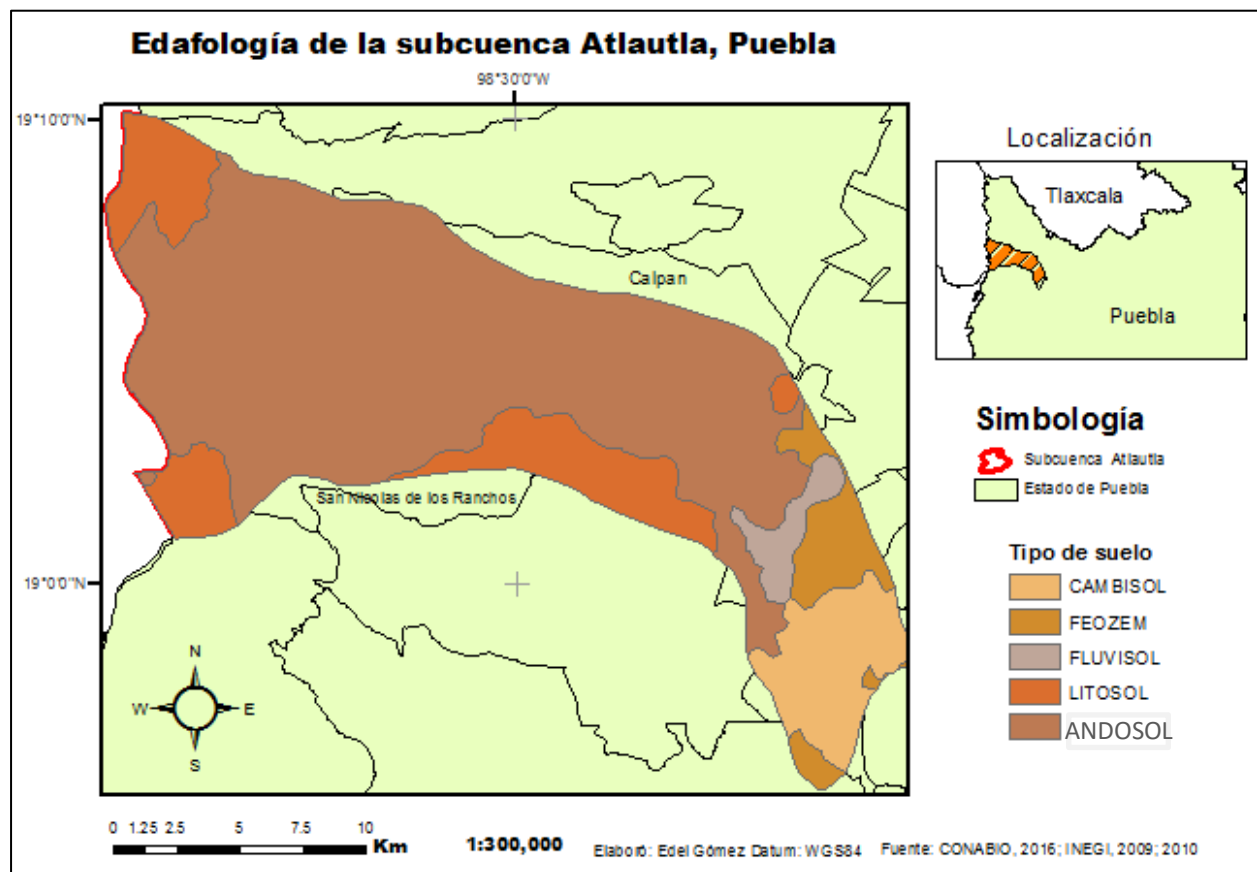


Figura 4. Edafología de la subcuenca.

Referente a la distribución y tipo de suelos en la zona de estudio, con la información obtenida de INEGI (2010) y CONABIO (2016), los andosoles cubren más del 60% de la superficie, seguido de los litosoles (16%), cambisol (10%), feozem (9%) y fluvisol (5%).

Andosoles. - Este tipo de suelos está constituido principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófano (mineral no cristalino compuesto de silicio, aluminio y agua), que le confiere ligereza y suntuosidad al suelo. Son generalmente de colores oscuros y tienen alta capacidad de retención de la humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva. La distribución global de los andosoles abarca una gran variedad de condiciones climáticas-frío a cálido y húmedo a seco (Jaramillo, 2002).

Litosoles. - Comprenden suelos muy delgados sobre roca continua y suelos que son extremadamente ricos en fragmentos gruesos. Son particularmente comunes en regiones montañosas. Tienen roca continua en o muy cerca de la superficie o son extremadamente pedregosos. En material calcáreo meteorizado pueden tener un horizonte *móllico* (WRB, 2015).

Cambisoles. - Combinan suelos con formación al menos de un horizonte subsuperficial incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y coloración principalmente parduzca, el aumento de porcentaje de arcilla, y/o remoción de

carbonatos. Se caracterizan por la meteorización leve o moderada de material parental y por la ausencia de cantidades apreciables de iluviación de arcilla, materia orgánica o compuestos de Al y/o Fe (WRB, 2015).

Feozem. - Tienen un horizonte superficial oscuro, rico en humus, están libres de carbonatos secundarios o los tienen sólo a mayores profundidades. Todos ellos tienen una alta saturación de bases en el metro superior del suelo (WRB, 2015).

Fluvisoles. - Suelos desarrollados en depósitos fluviales; del latín *fluvius*, río. Contienen suelos genéticamente jóvenes en depósitos fluviales, lacustres o marinos. Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes, pero puede tener presente un horizonte superficial diferente (WRB, 2015).

7.4.1.3 Uso de suelo.

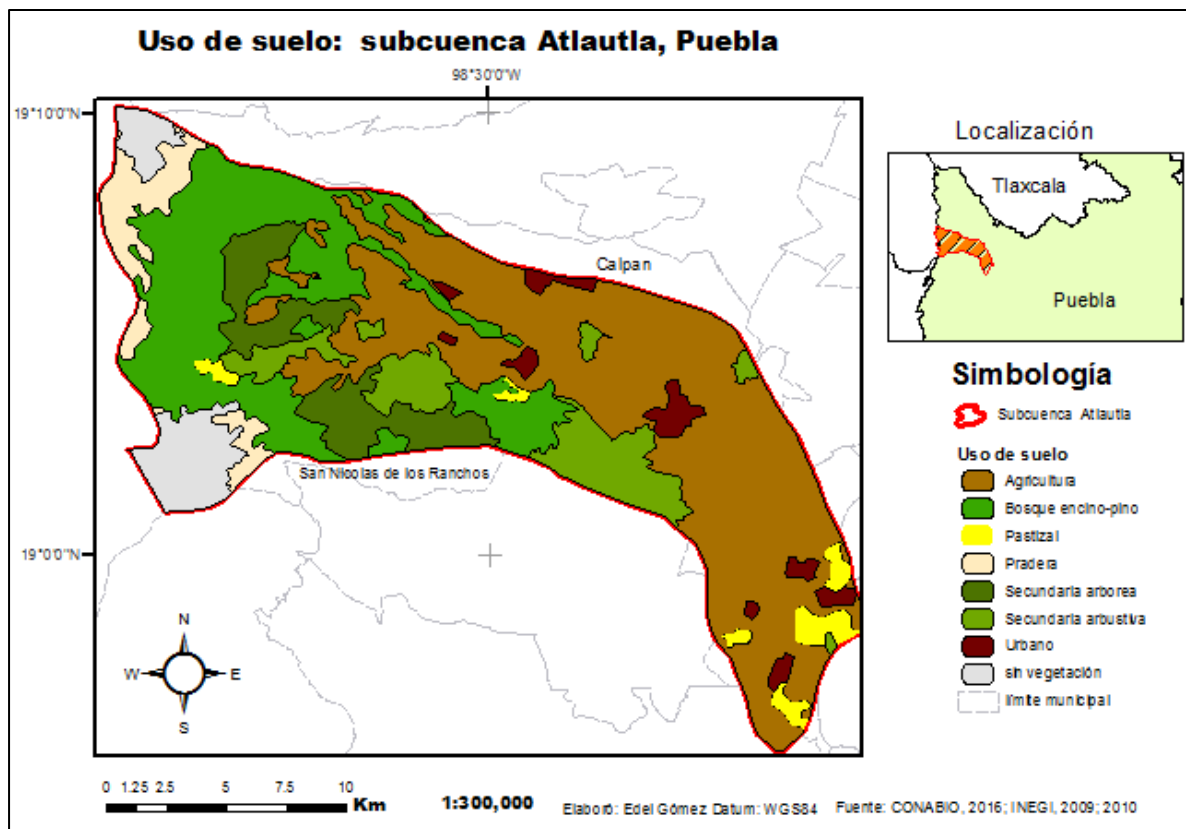


Figura 5. Uso de suelo de la subcuenca.

De acuerdo a los datos proporcionados por INEGI y CONABIO (2016) de uso de suelo y vegetación (serie VI). La agricultura ocupa la mayor ocupación de la superficie de la microcuenca con poco más del 50%, la mayor parte de los cultivos asociados son el de maíz de temporal., El bosque de pino-encino ocupa el segundo lugar en conjuntos con la vegetación secundaria tanto arbustiva como arbórea, El área de mayor cobertura de bosque coincide con la zona del Popocatepetl e Iztaccíhuatl (Parque Nacional). Aproximadamente un 9% responde a

pastizal. De acuerdo a la SEDESOL (2014) la superficie con presencia de desarrollo urbano corresponde a rural-urbano.

7.4.1.4 Clima.

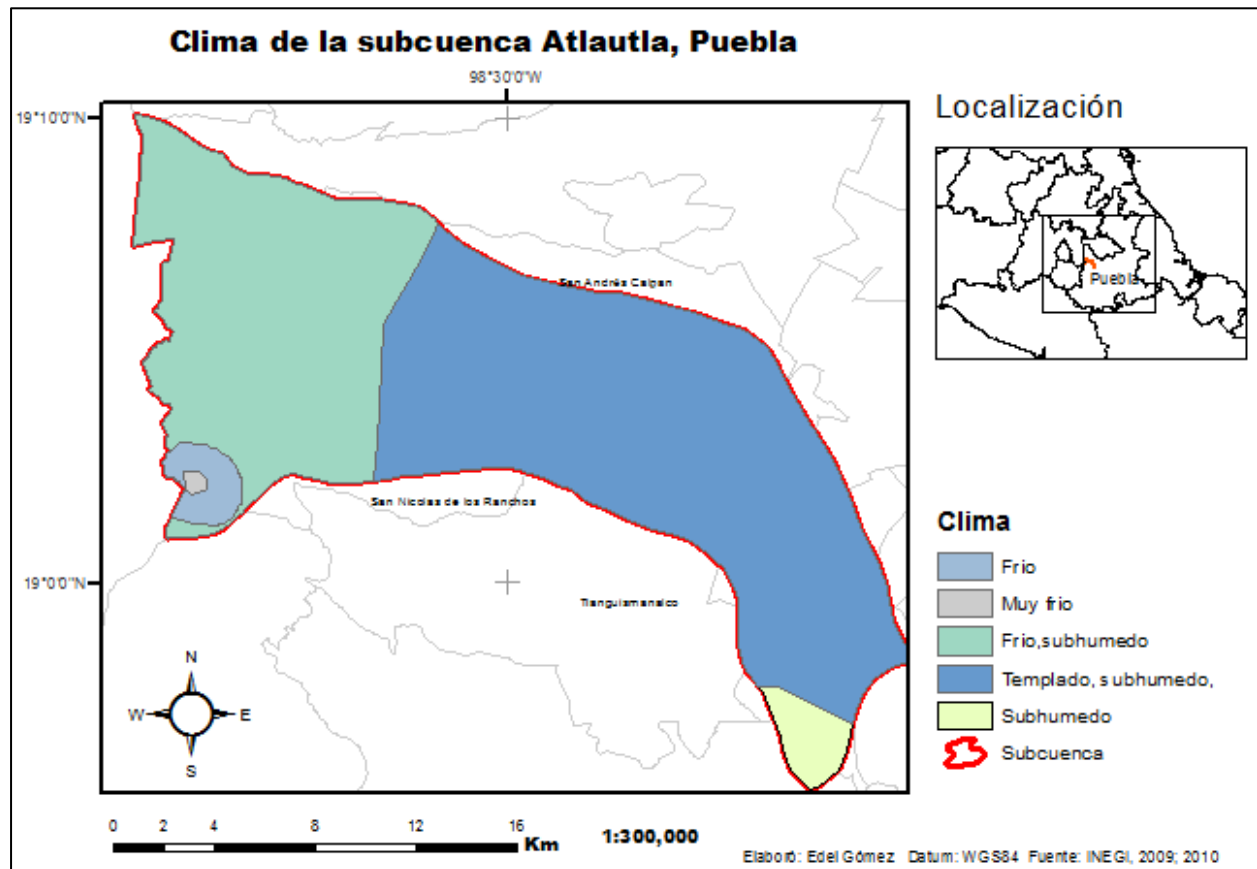


Figura 6. Climatología de la subcuenca.

De acuerdo a los datos del mapa el clima predominante en la zona es el templado subhúmedo, con lluvias en verano (INEGI, 2010), de acuerdo a la marcada estacionalidad la precipitación (200-700 mm) ocurre entre los meses de mayo-agosto. Las temperaturas medias están entre los 15.5 y 17 °C anual. El frío subhúmedo, correspondiente a la zona de volcanes, presenta temperaturas medias anuales entre 5 y 12 °C, con una precipitación promedio 900-1000mm al año.

7.5 Demografía

En este apartado se describe junto con datos de CONEVAL y SEDESOL aspectos demográficos de la población de las distintas localidades inmersas en la microcuenca de Atlautla. En San Andrés Calpan la población total del municipio en 2010 fue de 13,730 personas, El tamaño promedio de los hogares en el municipio fue de 4.3 integrantes. En 2010, 8,139 individuos (80.1% del total de la población) se encontraban en pobreza, de los cuales 6,109 (60.1%) presentaban pobreza moderada y 2,030 (20%) estaban en pobreza extrema.

Para Nealtican la población total, con cifras de la encuesta intercensal realizada en el año 2015 por el INEGI es de 12,442. De la población total, 7,537 se concentran en edades de 15 a 64 años, el 10.08% habla la lengua indígena náhuatl transmitida de generación en generación.

En San Nicolás de los Ranchos la población total del municipio en 2010 fue de 10,777 personas, El grado promedio de escolaridad de la población de 15 años o más en el municipio era en 2010 de 6.3. La población de San Jerónimo Tecuanipan fue 6,597 habitantes, 1.38% de estos habla al menos una lengua indígena. En el municipio de Santa Isabel Cholula se han registrado 11,498 habitantes, la población de 3 años o más que habla una lengua fue de 140 personas.

7.6 Socioeconomía

De acuerdo a datos de INEGI en San Andrés la falta de empleo genera pobreza y malestar en la población, una de las consecuencias de esta problemática ha sido el alto porcentaje de personas jóvenes que migran a otro país, se han registrado más de mil personas viviendo en el estado de Filadelfia (Estados Unidos) provenientes de San Mateo Ozolco (localidad del municipio de Calpan). Las personas económicamente activas se dedican al sector primario, ocupando una superficie de 71% aproximadamente del territorio, esta economía se basa en producir maíz y frijol intercalados con árboles frutales, siendo este municipio uno de los principales productores de tejocote a nivel estado.

En cuanto a Nealtican Díaz-Núñez *et al* (2012) recopilan información interesante sobre aspectos socioeconómicos de este lugar, históricamente hubo un conflicto entre el estado y la localidad por el recurso agua, llegando a un acuerdo en el abastecimiento de agua proveniente de Nealtican para la ciudad a cambio de infraestructura en la localidad, junto con esto las unidades domesticas rurales explotan los recursos suelo, agua y cantera, la mayoría de tierras se mantiene bajo el régimen de propiedad privada y la agricultura se desarrolla mayoritariamente de riego mediante la perforación de pozos.

A partir de esto se han generado otras actividades económicas como la producción y comercialización de flores y hortalizas hacia otros municipios, además venta de piedra de cantera, industria pequeña de masa y tortilla y la aparición de pequeñas industrias de block. Para los años noventa la migración tuvo un repunte lo que las remesas han generado flujo de dinero en el municipio, a través de la inversión en los pequeños negocios y en la construcción de viviendas.

Para San Nicolás de los Ranchos al igual que los municipios anteriores la agricultura representa la actividad económica más importante, sin embargo, actualmente es complementada con otras actividades como la albañilería, plomería, comercio, servicio público, y producción en traspatio que ha venido a ser un aporte económico y de subsistencia importante recientemente (López *et al.*, 2012).

La tenencia de la tierra en su mayoría es de tipo ejidal pero la superficie promedio es pequeña lo que permite la diversificación de actividades, seguido de esto el comercio a pequeña escala se ha convertido en la actividad principal en esta zona seguido de la agricultura, turismo y

servicios públicos. Otras actividades incluyen la apicultura que se ha venido desarrollando, también la zona ha tenido influencia del corredor industrial Quetzalcóatl, además las artesanías de piedra tallada son bien comercializadas en la región y en cuanto minería, la arcilla es el principal material (Estrella *et al.*, 2009).

La agricultura también es la principal actividad económica para San Jerónimo T., seguido de la minería de cantera, aunque en ambos casos es mal remunerado, lo que ha provocado una fuerte historia de migración (Márquez, 2022). La poca tierra de cultivo, producción pequeña y poco riego, generan presión a la explotación de la zona boscosa para adquirir retribuciones monetarias. Santa Isabel Cholula se caracteriza por tener una economía ligada a la agricultura a pequeñas escalas (Rieder, 2021) con auto aprovechamiento y para venta en tianguis y mercados locales.

De acuerdo a los datos de CONEVAL e INEGI en la Tabla 1 se muestran aspectos socioeconómicos de localidades inmersas en la zona de estudio.

Tabla 1. Aspectos socioeconómicos (INEGI, 2015).

Concepto	San Andrés Calpan	Nealtican	San Nicolás	San Jerónimo	Sta. Isabel Cholula
Rezago educativo (% de población)	31.2	23.2	32.2	24.3	31.0
Marginación	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Intensidad migratoria	Alto	Medio	Medio	Medio	Bajo
Actividades económicas (% mayor población)	Sector primario 48.6	Sector primario 34.5	Sector primario 56.9	Sector primario 45.3	Sector primario 41.2
Grado promedio de escolaridad	6	7	6.3	6.7	6

VIII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

8.1 Fase de gabinete

8.1.2 Recopilación de información

Se recopiló literatura de interés como artículos de investigación de revistas especializadas y literatura gris como tesis del grado de maestría y doctorado, boletines de información, informes de gobierno públicos. Se consultaron los sitios oficiales de SEMARNAT, INEGI Y CONABIO para la descripción de la zona de estudio y sitios como SEDESOL y CONEVAL para conocer las características socioeconómicas del área de estudio. Se utilizaron las cartas temáticas de datos vectoriales de INEGI Y CONABIO descargadas del sitio oficial (conjunto de datos topográficos, datos de vegetación y uso de suelo).

8.2 Fase de campo

8.2.1 Selección de agroecosistemas

Se realizó un viaje de reconocimiento a la microcuenca con el objetivo de ubicar quince parcelas con diferentes sistemas productivos (milpa, metepantle y milpa intercalada con frutales, monocultivo y zona de bosque) y se contactó a las familias que decidieron participar en la investigación, una vez seleccionadas se georreferenciaron para ubicarlas espacialmente en un sistema de información geográfica (ArcMap).

Se realizaron descripciones del entorno en los sistemas agroecológicos con base a la metodología establecida por Ruiz *et al* (1999) (Anexo1). Se tomaron muestras compuestas de suelo para medir el almacén de carbono a profundidad de 0-30 cm, debido a que a esta profundidad ocurren variaciones perceptibles en el depósito de carbono (Rügnitz *et al.*, 2009; Schlegel *et al.*, 2001).

El método para la toma de muestras compuestas se realizó conforme a la propuesto por Acosta-Mireles *et al* (2001), por lo que se posicionó un círculo de 1 m de diámetro con orientación al norte y sucesivamente se marcaron los cardinales faltantes para completar el esquema del “reloj” (Solís *et al.*, 2014) (Figura 7) en los que se tomó suelo a la profundidad planteada. Estas muestras fueron mezcladas (homogenizadas) en un saco de plástico, etiquetadas y llevadas al laboratorio (Arrouays *et al.*, 2018; Rügnitz *et al.*, 2009; Schlegel *et al.*, 2001).

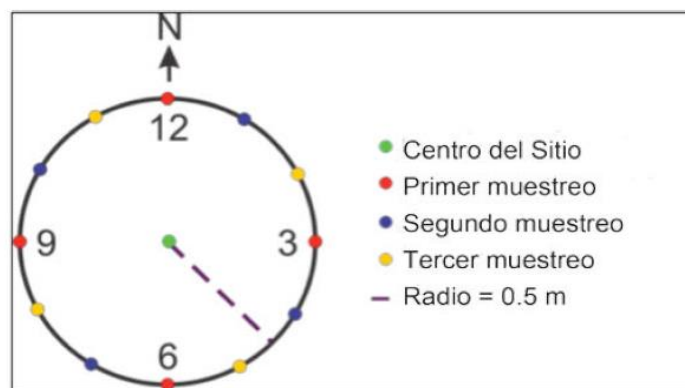


Figura 7. Diagrama de reloj para la colecta de muestras de suelo (Hernández *et al.*, 2014).

Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo, es necesario conocer la densidad aparente del suelo, por lo que al centro del círculo se tomó una muestra para determinar esta propiedad por método del “cilindro de volumen conocido” descrito por MacDicken (1997).

Una vez terminado el proceso de muestreo se llevaron las muestras rotuladas al laboratorio para ser analizadas y realizar los cálculos para determinar la cantidad de carbono almacenado en Megagramos por hectárea (Mg/ha).

8.2.2 Entrevistas semiestructuradas y encuesta

Se elaboró un instrumento de recopilación de información para la identificación de los conocimientos campesinos en el manejo de los agroecosistemas en la microcuenca Atlautla, a partir de una encuesta (Anexo 2) y una entrevista semiestructurada (Anexo 3), validadas por un grupo de expertos. Esta actividad involucró al investigador y a los informantes clave de la población (Figura 8) (Hernández-Sampieri, 2014). Las personas entrevistadas fueron los dueños de las parcelas que se encuentran dentro de la microcuenca.

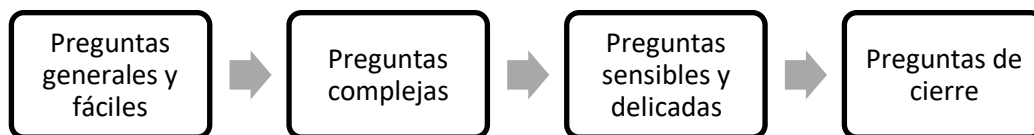


Figura 8. Orden de formulación de preguntas en una entrevista (Hernández-Sampieri, 2014)

Se preparó la encuesta y un guion con preguntas abiertas para la entrevista semiestructurada que conllevó a identificar los conocimientos campesinos relacionados con los agroecosistemas (Trindade, 2016), posteriormente se clasificaron con base en la tipología propuesta por Núñez, 2004 en: saberes salvaguardados, saberes hibridados, saberes sustituidos y saberes emergentes.

Se consideró una población finita (agricultores dueños de las parcelas)., el método de muestreo aplicado fue no probabilístico por conveniencia (CIMA, 2009), teniendo como resultados variables cualitativas de escala nominal., además se consideraron criterios de inclusión para los informantes clave: ser propietarios productores de más de 40 años de edad y experiencia de 30 años o más en el campo (Núñez, 2004; Gómez-Espinoza y Gómez-González, 2006; Vergara-Buitrago, 2018; López *et al.*, 2019).

8.3 Fase de laboratorio

8.3.1 Descripción físico-química de los parámetros del suelo

Cada una de las propiedades se determinaron en el laboratorio de suelos del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas (CICA) del Instituto de Ciencias (ICUAP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana

NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

Variables físicas

8.3.2 Densidad aparente

En definición de densidad aparente del suelo se menciona como la masa por una unidad de volumen del suelo seco, tomando en cuenta el espacio poroso (Jaramillo 2002). Esta propiedad física del suelo es afectada por las partículas sólidas y los poros del suelo e influye en la productividad de los cultivos por su relación con la capacidad de enraizamiento de las plantas, el transporte de agua y aire y el grado de compactación del suelo (Salamanca y Sadeghian, 2005). La densidad varía con la textura del suelo y la materia orgánica; puede variar de acuerdo a las estaciones por el tipo de labranza y la humedad presente en suelo (Taboada y Alvarez, 2008).

8.3.3 Textura

Esta propiedad influye en la capacidad para retener agua del suelo, en la fertilidad, aireación y contenido de materia orgánica (FAO, 2016). La textura se refiere a la proporción de los componentes inorgánicos del suelo: arena, limo, arcilla. El tamaño y la porción en la que se encuentran las partículas minerales que forman el suelo también permiten definir otras propiedades físicas como la estructura y porosidad.

8.3.4 Fragmentos gruesos

Comúnmente los fragmentos gruesos forman parte de las características superficiales del suelo, están expuestos parcialmente, deben ser descritos en términos de porcentaje de cobertura superficial y tamaño de fragmentos (FAO, 2009). El termino fracción gruesa del suelo engloba partículas mayores de 2 mm de diámetro, se puede conocer este material como gravas, clastos. Su influencia en las propiedades del suelo radica con su efecto en la infiltración, retención de agua, estructura, compactación y erosión de suelos (Fernández-Sanjurjo, 2003).

Variables químicas

8.3.5 pH

El pH del suelo expresa la actividad de los iones hidrogeno en la solución del suelo (FAO, 2009), además de afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, provocando deficiencia o toxicidad o que los elementos no se hallen en niveles adecuados (Castillo *et al.*, 2009). Se presenta el grado de acidez del suelo, es decir, la concentración, en forma logarítmica, de los iones H^+ . En suelos agrícolas se estima un pH óptimo entre 6.5 y 7.0 para un buen rendimiento (Castillo *et al.*, 2009). La materia orgánica afecta la reacción del suelo (pH) debido a los grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y el contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Aguilar, 1987).

8.3.6 Conductividad eléctrica

La conductividad está bajo la influencia de las propiedades físicas y químicas del suelo como el pH, el contenido de materia orgánica, salinidad, humedad e incluso el tipo de suelo (Corwin y Lesh, 2005). De acuerdo a Cremona y Enriquez (2020) la conductividad es una medida

indirecta de la concentración de sales. El suelo mantiene sales disueltas por lo que siempre habrá conductividad puede ser muy baja pero nunca nula.

8.3.7 Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables

Esta propiedad química del suelo hace referencia al total de cargas negativas que están con disponibilidad sobre la superficie de las partículas del suelo. El conocimiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es fundamental, debido a que el valor obtenido indica el potencial de un suelo para retener o intercambiar nutrientes. La mayor influencia sobre la CIC proviene de las arcillas y de la materia orgánica. Cationes del suelo como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Al^{3+} son predominantes en los suelos agrícolas y pueden ser remplazados por otros cationes presentes en la solución del suelo. Estas fracciones intercambiables también se refiere a la porción de los nutrimentos que están absorbidos en la superficie de los coloides del suelo, es decir, adsorbidos a las arcillas y humus del suelo.

8.3.8 Carbono orgánico del suelo

De acuerdo con la FAO (2017), el Carbono Orgánico del Suelo (COS) se refiere a la cantidad de carbono que contiene el suelo; esta depende del equilibrio entre la cantidad del carbono que entra y la que sale del suelo como gases de respiración, procedentes de la mineralización microbiana y, en menor medida, de la lixiviación del suelo como carbono orgánico disuelto. Párrafos anteriores se mencionó que este proceso de transformación de estos materiales da como resultado una mezcla biogeoquímica compleja de residuos vegetales y productos de descomposición microbiana en varias etapas de descomposición (Von Lützwow *et al.*, 2006; Paul, 2014) que pueden asociarse con minerales del suelo y ocluirse dentro de agregados, permitiendo la persistencia del COS en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios (Schmidt *et al.*, 2011).

8.3.9 Materia orgánica

Siguiendo a FAO (2009) la materia orgánica se refiere a todo material de origen animal y vegetal que este descompuesto, parcialmente y sin descomposición. También encontramos materias orgánicas humificadas que son sustancias húmicas o humus, materiales transformados que han perdido las características químicas de sus precursores (Porta, 2003). Para suelos volcánicos existen los siguientes valores: Muy Bajo (MB) < 4, Bajo (B) 4.1 – 6.0, Medio (ME) 6.1 – 10.9, Alto (A) 11.0 – 16.0, Muy Alto (MA) > 16.1 (NOM 021 ,2000). La materia orgánica circula por diferentes compartimentos: materia orgánica viva, materia orgánica no viva y humus.

8.4 Densidad aparente

De acuerdo a Rüginitz *et al* (2009), en el laboratorio, las muestras de suelo fueron secadas en una estufa de aire forzado a 105 °C por el tiempo necesario hasta que llegaron a peso constante, obteniendo así el peso seco del suelo proveniente de cada uno de los cilindros. El cálculo para determinar la densidad aparente es el siguiente:

$$Da = ms/v \text{ total}$$

Donde, la división entre la masa del suelo seco (ms, en gramos) y el volumen del cilindro (v total, en cm³) corresponde a la densidad aparente (g/cm³) del suelo. El volumen del cilindro es calculado por medio de la siguiente fórmula:

$$v = \pi \times r^2 \times h$$

Donde, r equivale al radio (en cm) y h a la altura (en cm).

8.5 Carbono orgánico del suelo (COS)

La determinación del COS se realizó mediante el método de Walkley y Black de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. El carbono almacenado en el suelo se calculó por medio de la sumatoria del carbono almacenado en cada horizonte definido (Rügnitz *et al.*, 2009):

$$COS = \sum_{horizonte=1}^{horizonte=n} COS_{horizonte} = \sum_{horizonte=1}^{horizonte=n} ([COS] * Densidad\ aparente * Profundidad * d * (1 - frag) * 10)_{horizonte}$$

Dónde:

COS = contenido de carbono orgánico del suelo, representativo del tipo de uso del suelo (Mg C/ha)

$COS_{horizonte}$ = contenido de carbono orgánico del suelo para un determinado horizonte (Mg/ha)

[COS] = concentración de carbono orgánico del suelo para una determinada masa de suelo obtenida del análisis de laboratorio (g C /kg de suelo)

Densidad aparente = masa de suelo por volumen de muestra (Mg de suelo m⁻³)

Profundidad = profundidad del horizonte o espesor de la capa de suelo, en metros (m)

frag = volumen porcentual de fragmentos gruesos/100, sin dimensiones

Obs.: se utiliza el multiplicador final 10 para convertir las unidades en Mg/ ha.

Para la concentración de COS se utilizó la clasificación propuesta por Vela *et al* (2011) para la cantidad de carbono de acuerdo a cuatro categorías: Muy Alto (>150 Mg/ha⁻¹), Alto (100-150 Mg/ha⁻¹), Medio (50-100 Mg/ha⁻¹), Bajo (<50 Mg/ha⁻¹).

8.6 Relación entre carbono orgánico del suelo y el conocimiento campesino de la microcuenca Atlautla, Puebla

En el entendido que la degradación edáfica es parte causal del manejo inadecuado del suelo y que esta degradación es otro factor que se suma al cambio climático, es indispensable considerarlo como un elemento socio ambiental clave la sostenibilidad (Córdoba y León, 2013) y las acciones sobre el agroecosistema unidas a saberes locales, tradiciones, adaptaciones, tecnologías, etc. (Jaramillo y Ortiz, 2015; Burbano, 2018).

En alcance al objetivo final de la investigación y al análisis de la relación entre el carbono orgánico del suelo y el manejo de los agroecosistemas por los campesinos se propuso utilizar que permitan asociar las actividades antrópicas con la dinámica del COS y describir las redes de efectos que se observen con la información obtenida (Padilla y Suchini, 2013; Sarandón y Flores, 2014; Estrada *et al.*, 2017). Por lo que se adaptó la metodología utilizada por Vergara

(2020) y la propuesta de Machado *et al* (2015), que incluyó tres dimensiones, seis atributos y sus indicadores (Tabla 2 y anexo 5).

Tabla 2. Modelo de indicadores de calidad con dimensiones, atributos e indicadores, determinantes para la relación entre COS y manejo de los agroecosistemas.

Dimensión	Atributo	Indicador
1. Económica	Seguridad alimentaria	▪ Diversidad de productos
		▪ Autoconsumo
	Rendimiento	▪ Producción por área/año
		▪ Empleo de insumos orgánicos
2. Técnico-productiva	Estado de conservación del suelo	▪ Estructura edáfica
		▪ Contenido de nutrientes
	Salud del cultivo	▪ Estado de materia orgánica superficial
		▪ Cobertura del suelo
		▪ Control de erosión
		▪ Fertilidad del suelo
		▪ Apariencia y crecimiento del cultivo
		▪ Incidencia de plagas y enfermedades
		▪ Diversidad de especies cultivadas
		▪ Vegetación natural circundante
	Prácticas de manejo sociocultural	▪ Preparación del terreno
		▪ Fertilización
		▪ Insumos para la fertilización
		▪ Manejo de plagas y enfermedades
		▪ Manejo de arvenses
		▪ Insumos para el manejo
		▪ Prácticas de conservación
3. Sociocultural	Redes sociales	▪ Apoyo mano de obra familiar
		▪ Organización comunitaria

Escala de evaluación: 1-muy baja 2-baja 3-buena y 4-muy buena

Fuente: (Vergara 2020; Machado *et al.*, 2015)

De igual manera se realizó un análisis de correspondencia múltiple (ACM), esta técnica descriptiva se aplicó a las tablas de contingencia producto de los resultados de los indicadores para el COS y el manejo sociocultural y estado de conservación del suelo. Los resultados se observan en una nube de puntos multidimensional asociadas a las variables o categorías, que permite perder el mínimo de información, generando análisis de las asociaciones y relaciones formadas entre las variables y categorías (Castiñeiras, 2018).

8.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos de la encuesta y de las propiedades físicas y químicas del suelo, la base de datos para la salida de gráficas fue a través del programa Excel (Office) y el software de programación Rstudio v.4.3.0.

La comparación de medias entre los agroecosistemas respecto al carbono orgánico del suelo se realizó con el análisis de varianzas (ANOVA) de un factor para probar la hipótesis nula H_0 = las medias de los grupos son iguales, contra la hipótesis alternativa H_a = al menos una de las medias de los grupos es distinta. Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilks con un 95 % de nivel de confianza y el test de Bartlett para la homogeneidad de las varianzas a la variable respuesta (COS) para la comparación entre los agroecosistemas. Posteriormente se realizó una prueba de Tukey para la comparación entre grupos estadísticamente significativos. Para el análisis de estos datos cuantitativos se utilizó el programa MiniTab 17 1.2.

Para analizar la relación existente entre la cantidad de COS y el manejo de los agroecosistemas por los campesinos, se realizó un Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) con el programa Rstudio y la paquetería FactoMineR. Se consideró a los sistemas de cultivo como individuos, respecto a los cuales se analizaron las relaciones y asociaciones en las dimensiones del ACM a partir de los datos categóricos nominales (respuestas de los indicadores del suelo) y la cantidad de COS determinada en laboratorio.

El ACM representa una nube de variables, categorías e individuos en ejes ortogonales a través de dimensiones donde se forman grupos de los individuos; estas dimensiones se construyen geométricamente en base a la asociación, diferencias y similitudes en las respuestas obtenidas (datos). (Rojas *et al.*, 2021).

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 Zona de estudio y muestreo de suelo

La salida de reconocimiento permitió conocer el área de estudio. Se logró un primer acercamiento con algunos campesinos (Figura 9), que fueron invitados para colaborar en la investigación y se identificaron los agroecosistemas objetivo de la investigación (Figura 10).



Figura 9. Acercamiento a campesinos para colaborar e identificar el manejo de sus cultivos.



MIAF



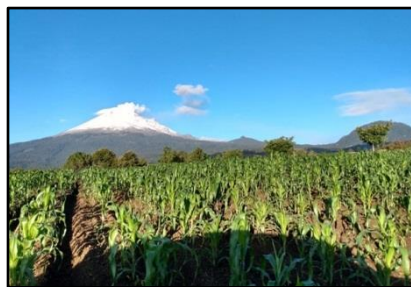
Milpa



Metepantle



Bosque pino-encino



Monocultivo

Figura 10. Tipos de agroecosistemas seleccionados para la investigación.

Muestreo en la microcuenca Atlautla

En los distintos sitios seleccionados para el muestreo de suelo se realizaron descripciones del entorno y se tomaron muestras de acuerdo a la metodología antes mencionada, se utilizaron herramientas, como pala y barreno para la extracción de la muestra (profundidad 0-30 cm), posteriormente fueron homogenizadas por cuarteo y se almacenaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y resguardadas en el laboratorio de suelos del CICA. Para el cálculo de carbono orgánico en unidades por superficie se requiere de la medición precisa de la densidad aparente del suelo, por lo que se tomó con el método del cilindro de volumen conocido: el cilindro se enterró en la superficie del suelo y con la ayuda de una pala se extrajo la muestra sin alteración. A través de un GPS (sistema de posicionamiento global) se tomaron las coordenadas de cada sitio para ser georreferenciados y ubicados geográficamente mediante Google Earth (Figura 11 y Figura 12). En la Tabla 3 se presenta la descripción de los sitios de muestreo seleccionados.



Figura 11. Sitios y toma de muestra

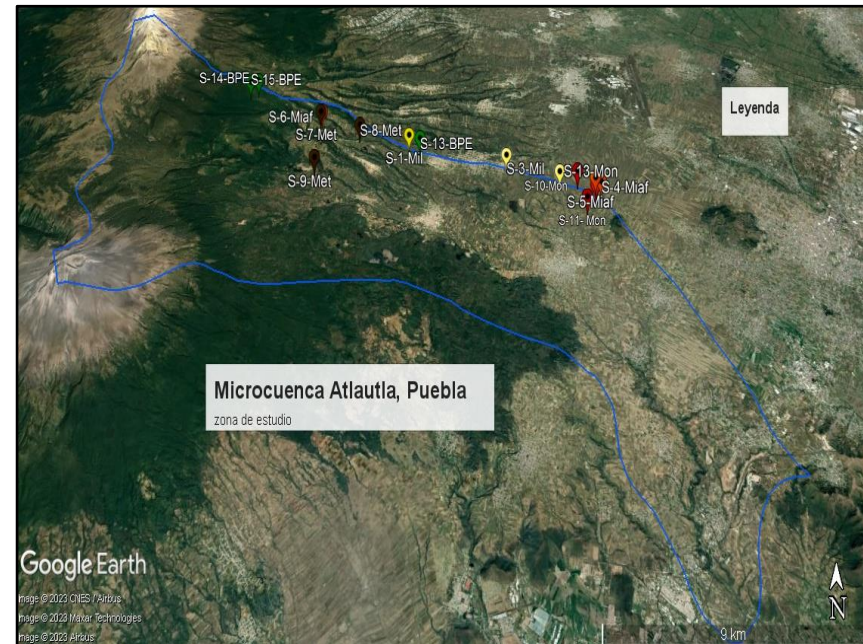


Figura 12. Sitio de muestreo, localizados y georreferenciados en la microcuenca

Tabla 3. Descripción general de los agroecosistemas seleccionados para la investigación.

Punto de muestro	Ubicación	Localidad	Sistema	Agricultura
Sitio 1	19°06'30.5"N 98°29'48.4"W	San Lucas Atzala	Milpa	Temporal de subsistencia
Sitio 2	19°06'18.9"N 98°25'00.2"W	Cuatro caminos	Milpa	Temporal intensivo de venta
Sitio 3	19°06'20.8"N 98°26'55.8"W	Tepoztla	Milpa	Temporal intensivo de venta
Sitio 4	19°05'46.6"N 98°23'43.0"W	Cuatro caminos	MIAF	Temporal intensivo de venta
Sitio 5	19°05'48.3"N 98°23'58.6"W	San Andrés Calpan	MIAF	Temporal intensivo de venta
Sitio 6	19°07'10.7"N 98°32'28.9"W	San Lucas Atzala	MIAF	Temporal intensivo de venta
Sitio 7	19°07'10.2"N 98°32'31.9"W	Tlayahuapa	Metepantle	Temporal de subsistencia
Sitio 8	19°07'10.7"N 98°30'27.1"W	San Mateo Ozolco	Metepantle	Temporal de subsistencia
Sitio 9	19°05'34.5"N 98°32'31.9"W	San Lucas Atzala	Metepantle	Temporal de subsistencia
Sitio 10	19°06'04.3"N 98°23'34.0"W	San Andrés Calpan	Monocultivo	Temporal intensivo para venta
Sitio 11	19°05'45.7"N 98°24'47.1"W	San Lucas Atzala	Monocultivo	Temporal de subsistencia
Sitio 12	19°07'47.0"N 98°33'23.4"W	Ixcalo	Monocultivo	Temporal de subsistencia
Sitio 13	19°06'24.6"N 98°29'28.2"W	San Lucas Atzala	Bosque	No perturbado (cerca del camino a San Mateo)
Sitio 14	19°08'10.6"N 98°34'35.9"W	San Mateo Ozolco	Bosque	No perturbado
Sitio 15	19° 8'4.38"N 98°34'49.36"W	Parque Nacional Iztá-Popo	Bosque	Actividades forestales

9.2 Sistemas agroecológicos en la microcuenca Atlautla, Puebla

A continuación, en desarrollo del primer objetivo de la investigación se describen los agroecosistemas de la zona de estudio, con base en los registros de campo, la observación *in situ*, las charlas informales con los dueños de los predios y con información registrada en la literatura. De manera general la mayor parte de la zona muestra una topografía más o menos plana hacia el oriente y conforme se acerca el poniente se muestra accidentada y con aumento en la pendiente. En la mayoría de los sistemas observados los terrenos con pendientes moderadas (20%) son dedicados a cultivos básicos de subsistencia, y donde existe mayor pendiente (30-35%) se destina para la fruticultura ubicándose cerca de las faldas del Popocatepetl e Iztaccíhuatl, en las localidades de San Mateo Ozolco y San Lucas Atzala

particularmente (Castellanos, 2017). En la Tabla 4 se muestran datos generales de los sistemas considerados.

Referente a la distribución y tipo de suelos en la zona de estudio, con la información obtenida de INEGI (2010) y CONABIO (2016), los andosoles cubren el 100% de la superficie, dónde fueron tomadas las muestras. Este tipo de suelos está constituido principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y suntuosidad al suelo. En la Figura 13 se muestra la descripción de un perfil general de suelo existente en la zona tomado del trabajo de Aguilar-Jiménez, (2022).

Condiciones del entorno: Edad del suelo: joven, tipo de formación: <i>in situ</i> , presenta signos de erosión laminar, con un grado de pendiente de 30 %, con influencia humana fuerte, en un relieve montañoso. Presenta un drenaje interno y externo drenado. Se presentan afloramientos de rocas del 5 al 10 % en la superficie (granito). Se identificaron los siguientes factores limitantes: pendiente, profundidad, rocas, erodabilidad, erosionado. El tipo de vegetación es zona con vegetación secundaria. Uso del suelo: Agropecuario								
Fecha: 13 de julio 2021		Ubicación geográfica: 19°08.529'N 098°34.753'O		Altitud: 3265 msnm		Exposición: este		
Localización: San Nicolás de los Ranchos, pue.		Clasificación: Andosol INEGI 2010			Estado del tiempo: nublado			
Perfil 2		Horizonte		Descripción del perfil				
		A 0-110cm		Separación difusa gradual, color negro, húmedo al tacto, contenido de materia orgánica más del 3%, sistema radicular abundante, de estructura granular, poros pequeños y medianos, consistencia friable no compacto, ligera adhesividad, textura arenosa al tacto.				
		AB1 110-140cm		Separación difusa, color café claro seco, oscuro ligeramente húmedo, materia orgánica menor al 3%, sistema radicular con raíces finas, estructura granular, porosidades subangulares, con incrustaciones de rocas, fases brillosas escasas, textura arenosa, contiene gravas y rocas volcánicas.				
		AB2 140-170cm		Separación difusa, café amarillento húmedo, estructura con subangulares grandes, poca porosidad, ligeramente compacto, textura arenosa.				
Propiedades físicas y químicas del perfil:								
Horizonte		pH (H2O)		MOS (%)	C (%)	NT (%)	C/N (%)	Clase textural
A		5.6		8.70	5.04	0.44	11.45	CL
AB1		5.7		4.57	2.65	0.23	11.52	CL
AB2		5.7		6.63	3.85	0.33	11.67	CL

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

Figura 13. Descripción del perfil en la microcuenca Atlautla, Puebla. Tomado de Aguilar-Jiménez (2022).

Tabla 4. Descripción de los Agroecosistemas en la Microcuenca Atlauta. La orografía está determinada por su ubicación con respecto a la Sierra Nevada en la parte oriental del Eje Volcánico Transversal, y altura sobre el nivel del mar oscila entre los 3 000 y 2 100 metros, con temperaturas entre 8 y 16 °C y precipitación de 200 a 900 mm. Los climas son el templado subhúmedo con lluvias en verano y el semifrío con lluvias en verano (INEGI, 2012).

Sistema	localidad	Spp. cultivadas	Superficie en ha.	Núm. de familiares participantes	Agricultura	Practiclas Agroecológicas	Años trabajando la parcela
Milpa	San Lucas Atzala	Maíz blanco, maíz criollo, calabaza, chile	0.875	5	Temporal de subsistencia	Labranza mínima, abono orgánico, cobertura vegetal, selección de semilla	35
	Cuatro caminos	Maíz híbrido y frijol	1.2	5	Temporal intensivo de venta	Abono orgánico	35
	Tepoztla	Maíz híbrido y frijol	1	6	Temporal intensivo de venta	Abono orgánico	35
MIAF	Cuatro Caminos	Maíz blanco, tejocote, calabaza	1.2	6	Temporal intensivo para venta	Abono orgánico, cobertura vegetal	25
	San Andrés Calpan	Maíz pozolero, durazno, frijol	1	6	Temporal intensivo para venta	Abono orgánico, cobertura vegetal	30
	San Lucas Atzala	Tejocote, maíz blanco	1.3	6	Temporal intensivo para venta	Cobertura vegetal	30
Metepantle	Tlayahuapa	Maíz criollo, calabaza, maguey manso	1	5	Temporal de subsistencia	Selección de semillas, cobertura vegetal	35
	San Mateo Ozolco	Tejocote, maíz criollo, maguey verde	0.730	5	Temporal de subsistencia	Selección de semilla	30

	San Lucas Atzala	Tejocote, maíz blanco, maguey verde	0.950	6	Abono orgánico, selección de semilla	Selección de semilla, cobertura vegetal	25
Monocultivo	San Andrés Calpan	Maíz híbrido	1.3	5	Temporal intensivo para venta	Abono orgánico	35
	San Lucas Atzala	Maíz criollo	0.740	4	Temporal de subsistencia	Labranza mínima, abono orgánico, cobertura vegetal, selección de semilla	30
	Ixcalo	Maíz blanco	0.750	4	Temporal de subsistencia	Selección de semilla, cobertura vegetal	30
Bosque (pino-encino)	San Lucas Atzala	Sin aprovechamiento <i>Pinus, Quercus</i>	--	--	No perturbado (cerca del camino a San Mateo)	Se observa vegetación secundaria	--
	San Mateo Ozolco	Sin aprovechamiento <i>Pinus, Quercus</i>	--	--	No perturbado	Se observa gran cantidad de acículas de pino	--
	Parque Nacional Izta-Popo	Sin aprovechamiento <i>Pinus, Quercus</i>	--	--	Actividades forestales	Brechas corta fuegos, reforestación	--

POLICULTIVOS

Conceptualizando de manera general, el policultivo es un sistema agrícola que consiste en producir cultivos diferentes de manera simultánea, y que sean aprovechados durante de un ciclo productivo. Ciertamente es que el policultivo genera un uso eficiente de los recursos, también lo es que los sistemas agroforestales permiten y generan el aprovechamiento de otros elementos útiles en la producción, estas especies leñosas (árboles y arbustos) son utilizados en asociación con cultivos agrícolas y con animales (Castellanos, 2017). A continuación, se describe los policultivos milpa, metepantle y milpa intercalada con árboles frutales en la microcuenca.

MILPA

La palabra milpa deriva del náhuatl *milli*, que significa “lugar de semillas enterradas”, es decir, el lugar donde se entierran las semillas de maíz. De acuerdo a lo anterior, se refiere a la producción de maíz (*Zea mays*) a través de la siembra de sus diferentes razas; incluye las variadas especies de frijol (*Phaseolus vulgaris*), haba (*Vicia faba*), calabaza (*Cucurbita spp.*), Chile (*Capsicum spp.*) y arvenses (Kato *et al.*, 2009; Sánchez y Romero, 2018; Ayala-Enríquez *et al.*, 2019). Además, se encuentran asociadas especies de quelites (*Amaranthus hybridus*) y otras plantas de uso medicinal (Ayala-Enríquez *et al.*, 2019). En múltiples regiones del país esta actividad mencionan los campesinos es una tradición y una fuente de subsistencia principalmente, y que proporciona una dieta variada en su alimentación (Setyawati, 1996), también puede ser utilizado para cambio o venta siempre y cuando el excedente se los permita (Kato *et al.*, 2009)

Los sistemas de milpa considerados en la investigación se encuentran establecidos en terrenos no mayores a 2 hectáreas en cuanto a su extensión, además coinciden en la organización familiar para la repartición del trabajo de campo, los jefes de familia (padres, abuelos) son los responsables del trabajo de campo y enseñar a sus descendientes el mismo, el promedio de edad ronda entre los 58 y 65 años de edad. Las mujeres además del trabajo de hogar participan en la selección de semillas principalmente, para la siembra y una vez hecha la cosecha para la próxima temporada, los principales aspectos que consideran es el color, el tamaño y aspecto general de la semilla, al igual que el de la mazorca, sin embargo, algunas mujeres como el caso de la señora Teresa y Marisol Medina han aprendido y puesto en práctica el trabajo en campo en sus cultivos, como muchas otra mujeres en la región como ellas declaran. Los hijos, nietos, sobrinos trabajan en el deshierbe, la preparación de la tierra, el sembrado, la recolección y la pizca del maíz, entre otras actividades (Figura 14).

Al igual que el resto de los agroecosistemas la milpa se trabaja bajo condiciones de temporal, salvo algunos agricultores que pertenecen a grupos de “pozos” los cuales sirven de suministro de agua para riego bajo sus propias reglas, la organización de estas personas se basa en la proporción equitativa del recurso. De acuerdo a la información directa de los agricultores entrevistados, siembran maíz blanco, principalmente cacahuacintle, maíz pozolero, maíz azul, de acuerdo a Gil *et al* (2004) los agricultores del Valle de Puebla utilizan mayormente el maíz blanco seguido del maíz azul y en menor proporción otros colores, esto se atribuye al mejor precio en el mercado del maíz blanco, así como a los usos tradicionales.

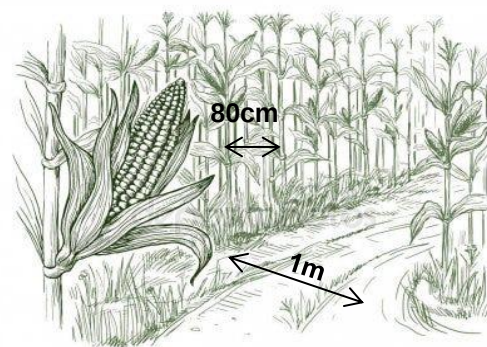
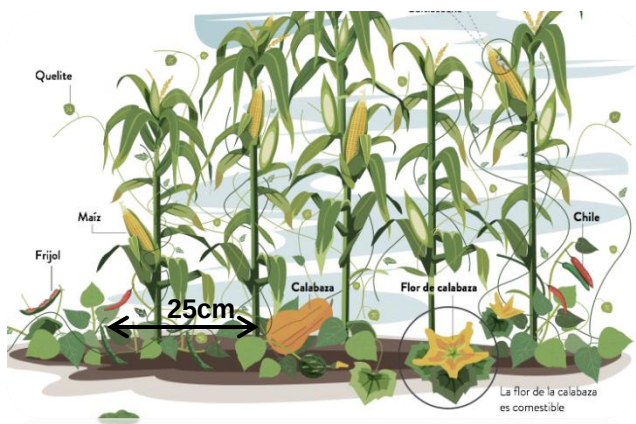
La siembra de variedad criolla prevalece sobre la de semilla mejorada o híbrida, principalmente por la tradición familiar así lo especifican las personas que emplan este sistema como los de monocultivo. El bajo uso de semillas híbridas (mejoradas) coincide con las tendencias a nivel nacional, donde el empleo de semillas certificadas ronda el 26 %, las cuales se emplean generalmente en las zonas de buen potencial de rendimiento (Espinosa *et al.*, 2000).

Para la producción de la milpa de acuerdo a los dueños de los predios, la labor se inicia con la preparación del terreno en las primeras dos semanas del mes de mayo, es importante señalar que los restos del cultivo anterior permanecen sobre el suelo para protegerlo, así lo declaran los campesinos, la rastra o preparación del suelo y barbecho se hace con una combinación de

tecnología (tractores) y herramientas tradicionales (coa por ejemplo) permitiendo una labranza semi-intensiva, aunque ellos están conscientes de la mejoría al suelo que tendría el llevar a cabo una labranza cero, sin embargo, el principal impedimento es la falta de mano de obra para contratar.

Para la siembra, se llega temprano al terreno se pide alguna plegaria para “pedir favor por una buena cosecha” y normalmente los hijos de los campesinos o campesinas ayudan en esta etapa., el surcado se hace con ayuda de yunta, solo don Telesforo Morales lleva a cabo esta actividad, doña Teresa Medina, la otra campesina que produce a través de la milpa, utiliza esta actividad con ayuda del tractor. A lo largo del surco aproximadamente cada 25-35 cm se depositan semillas de maíz en mayor número que de frijol y calabaza, la semilla la transportan en morrales de ayate, los primeros días de germinación y brote de la plántula son esencialmente cuidados de los depredadores, si es mucha la prevalencia se utilizan plaguicidas y si no se trata de mantener libre el suelo de productos químicos. Para fertilizar se utiliza de preferencia abono orgánico, a veces la cantidad que se quisiera proporcionar al suelo está limitada por los costos de compra y arrastre del abono (estiércol).

Cuando las plantas comienzan a madurar se hacen cercos con ayuda del suelo para protegerlos de la fuerza del viento y evitar su caída para esto también ayudan las matas de frijol y calabaza que son acomodadas alineadas al surco cuando comienzan a expandirse, muchas veces para evitar que se rompan con el paso del arado o tractor, con el azadón también se le sube la tierra para proteger las raíces adventicias de los maíces, calabaza y frijol. La cosecha puede empezar a mediados de septiembre con la maduración de los elotes tiernos además de flor de calabaza, calabaza y frijol o arvenses que se hayan utilizado, si no hay heladas pueden tener hasta finales de noviembre productos de la calabaza mencionan doña Teresa y don Telesforo. Después al principio de año comienza la selección de semillas para el próximo ciclo, también son desgranadas las mazorcas manualmente o con ayuda de desgranadoras y todo se almacena en costales, con destino a la subsistencia del agricultor y su familia o para la venta en la misma región o a la ciudad de Puebla.



Fuente: <https://deliciasprehispanicas.com/hablando-del-maiz-y-otras-cosas-de-la-milpa/>

Figura 14. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema Milpa

MAÍZ INTERCALADO CON ARBOLES FRUTALES (MIAF)

Las salidas de campo permitieron corroborar el porcentaje de ocupación en suelo que tienen los diferentes agroecosistemas, particularmente el sistema MIAF ha tomado importancia en la zona en los últimos 15 años, después que los “ingenieros” (haciendo referencia a investigadores de Colegio de Postgraduados y de INIFAP), como mencionan las personas, enseñaron a varios productores el funcionamiento de este sistema. Estas unidades de producción son en su gran mayoría de temporal. Respecto al conocimiento para el manejo de los árboles frutales, se encontró que proviene de las experiencias de los productores y su transmisión por la familia y, en menor medida, por contacto de algún agente externo. La aplicación de este conocimiento permite a las familias obtener en promedio una producción 65.3 kg de fruta por árbol; volumen que se destina al mercado local, y principalmente a la central de abasto, Ciudad de México (Ruiz, 2012; Castellanos, 2017).

Este diseño agroforestal tiene como principal componente el maíz (mesocultivo) (porque es estratégico para la seguridad alimentaria de la familia campesina), árboles frutales (epicultivo) y otras especies de la milpa (sotocultivo), intercaladas en franjas de surcos alternos (Albino, 2014).

Como sistema agroforestal el MIAF es considerado conceptualmente por Iglesias (1999), como una integración entre el uso de la tierra (suelo), los cultivos agrícolas, los árboles, los pastos y los forrajes, mediante una correcta distribución espacial y temporal; además menciona que el objetivo es generar diversidad y optimizar la producción en un marco de sustentabilidad.

La implementación de este sistema en la región, representa una actividad económica importante para los agricultores de manera general y particularmente para los participantes de la investigación y así lo menciona doña Gloria Medina, Teresa Medina y don Paulino Hernández, quienes son propietarios de parcelas donde siembran tejocote (*Crataegus mexicana*) intercalado con maíz y calabaza y también árboles de durazno (*Prunus persica*) como es el caso de doña Gloria. De acuerdo a Osorio-García *et al* (2015) Debido a los distintos períodos de maduración, quienes producen frutales, disponen de productos para venta en mercados regionales a lo largo del año. Por ejemplo; el durazno y las peras entre mayo y julio, y el tejocote entre noviembre y diciembre, por mencionar algunos.

Como es característico de la región los jefes de familia (en este caso los agricultores mencionados anteriormente), son los encargados de llevar a cabo las actividades principales en el trabajo de campo acompañados de sus familiares, en un promedio de 5 a 7 personas. Es importante destacar que las mujeres en este caso han mantenido la tradición familiar debido a la resistencia de la pérdida de la cultura que les han dejado sus antecesores, y en la región especialmente en Ozolco y Calpan hay cada vez más mujeres encargadas de la producción, por las ganas de emprender, producir y mantener las tradiciones mencionan doña Teresa y Gloria, quienes participan activamente en su terreno, especialmente en la adopción y recuperación de técnicas agroecológicas, “debemos cuidar la tierra para que nos de buena producción” mencionan además “estamos entusiasmadas con aprender de las experiencias de los demás para mejorar la producción pero hacerlo de manera más natural sin químicos”.

Los agricultores de la región dedicados a la producción de fruta disponen de terrenos de más de 1 ha mínimo (Castellanos, 2017). Entre la variedad de frutales que se siembran el tejocote es el de mayor incidencia por encima del durazno, capulín, manzana, esto porque de acuerdo a la información de los productores en los últimos años ha incrementado la demanda en el mercado por este fruto. El estado de Puebla ocupa el primer lugar a nivel nacional en la producción de esta fruta dura agridulce, se estima una producción anual que sobrepasa las 4 mil toneladas distribuidas en 22 municipios, principalmente en la zona del Izta-Popo (Castellanos, 2017; SAGARPA, 2017).

De acuerdo a los entrevistados sus árboles y los de los demás productores tiene una edad aproximada entre 6-10 años, lo que implica una etapa productiva plena de los frutales. Teniendo como resultado cosechas desde el mes de agosto hasta diciembre, sin embargo, la mayor producción es en los meses de octubre, noviembre y diciembre, comercializando en los mercados de la ciudad de Puebla y la Ciudad de México. A pesar de que ha habido proyectos de implementación del sistema desde hace varios años los campesinos (as) dicen que han trabajado los árboles frutales por tradición, por asesoramiento de compañeros y en menor porcentaje por técnicos provenientes de distintas instituciones, debido a esto las personas están interesadas en recibir aprendizaje de cómo cuidar o mejorar la calidad de sus tierras, argumenta la señora Gloria: “hemos estado asistiendo a cursos en el CBTA y a todos los que se pueda porque estamos interesados en cuidar la tierra y que podamos producir más”, don Paulino: “debemos echarle ganas con la tierra porque ya se está perdiendo entre los jóvenes, porque piensan que ya no es útil (fértil pues) para producir”.

Para la producción del sistema MIAF los productores han considerado árboles que se favorecen mejor con el clima de la zona, como el durazno, el tejocote, manzana, capulín, ciruela por mencionar algunos. Teniendo a disposición el terreno se trazan las curvas de nivel, con la cual se puede marcar la distancia de siembra entre árboles y los bordos o zanjas cuando se requieren menciona don Paulino. En los sistemas evaluados la distancia entre arboles es en promedio de 5 a 7 metros y las hileras son de 6 o 7. La distancia y numero de hileras recae en algunas ventajas que mencionan los propietarios como poder trabajar mejor, y mayor entrada de luz, esto concuerda con el trabajo de Castellanos (2017) con resultados parecidos en estos componentes tecnológicos utilizados por los campesinos de la región de Calpan (Figura 15.)

La preparación del terreno se inicia a principios de año en el mes de enero, con azadón o machete se limpia el terreno y la materia orgánica es agregada al suelo para protegerlo y generar nutrientes, los restos pueden ser también del ciclo anterior de cultivo. El siguiente mes en febrero comienza el barbecho, don Paulino surca con arado y yunta y las señoras Medina utilizan maquinaria. A finales del mes de marzo y principio de abril se siembra la milpa (mesocultivo y soto cultivo) y en mayo se abona con estiércol y compostas, la dificultad muchas veces recae en el costo ya que no todos tiene la posibilidad de generar su propio abono y el costo para los insumos se ha elevado los últimos años argumentan los señores.

Entre los meses de junio y julio se hacen aterrados para que las plantas tengan mejor crecimiento y absorción de nutrientes, también les han recomendado utilizar fertilizantes foliares sin embargo por falta de tiempo y mano de obra pocas veces se hace esta actividad, al igual que el raleo y la poda que se ha demostrado que influye en la calidad y productividad de los

frutales (Castellanos, 2017). En agosto se cosechan elotes tiernos y productos del frijol o calabaza u otro cultivo asociado. A finales de temporada en octubre y noviembre se dobla el maíz y posteriormente comienza la pizca de mazorcas de la milpa de igual forma también se colectan los frutos de tejocote para su almacenado y venta y deben podarse los árboles, ya para diciembre se incorpora el rastrojo al suelo para comenzar un nuevo ciclo. De manera general así es como lo han trabajado las personas, aplicando técnicas nuevas y experiencias obtenidas a través de los años y coincidiendo en la falta de apoyo gubernamental para un mejor desarrollo de su actividad pecuaria.

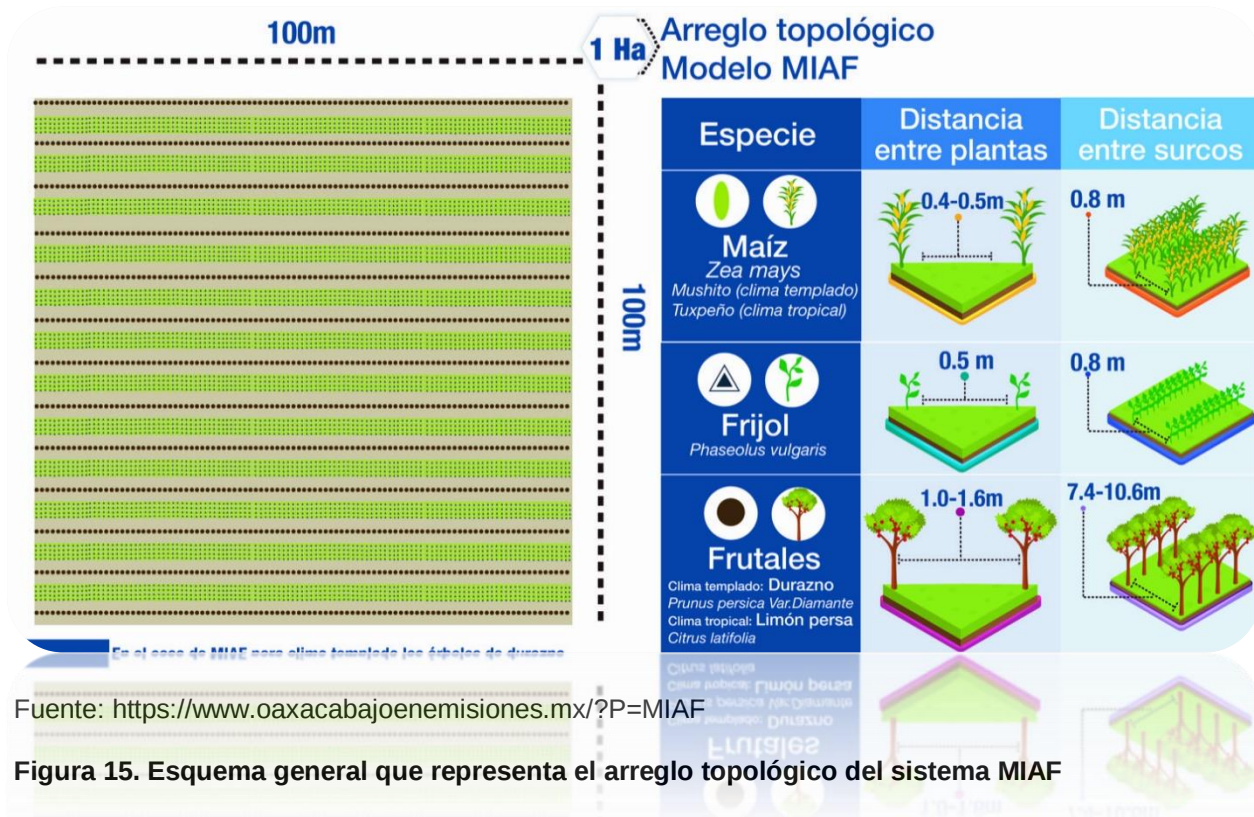


Figura 15. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema MIAF

METEPANTLE

Este antiquísimo sistema agroforestal tiene aún presencia importante en algunas regiones del país, particularmente en el Altiplano central, en laderas de regiones áridas y templadas, manejados por grupos nahuas y mestizos (Moreno-Calles, 2013). El Metepantle o metepancle hace referencia al maguey (metl) y a división (pantli), es una práctica agrícola tradicional que propone el cultivo de maguey en hileras perpendiculares a la pendiente del terreno (Moreno-Calles, 2013, García *et al.*, 2020; Valera *et al.*, 2020).

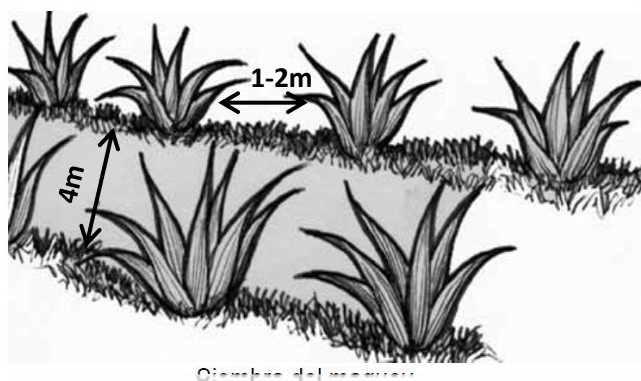
Los campesinos entrevistados (Marcelino Popoca, Andrés Hernández, Gregorio Ventura), son provenientes de San Mateo Ozolco, ya que la presencia de este agroecosistema está ubicada a mayor altitud que los demás, en dirección al Popocatepetl. Los productores consideran el metepantle como el sistema donde se cultiva maíz, frijol y haba particularmente en la zona, siendo diferente de la milpa por la utilización de magueyes como barreras, cercos para la

delimitación de terrenos, además de retención de humedad para el suelo y obteniendo productos como el pulque, ixtle y pencas útiles como materia orgánica, entre otras cosas, lo que ellos argumentan concuerdan con lo reportado por otras investigaciones referentes a la obtención de productos del maguey (Pérez, 2012; Moreno-Calles, 2013).

Además, la cercanía con árboles como el encino (*Quercus spp.*) y ocote (*Pinus spp.*) ayudan a su cultivo funcionando como rompe vientos ayudando a sostener los magueyes y en la disminución de la erosión del suelo. Las especies cultivadas por los agricultores considerados en este trabajo son la variedad mansa (*Agave salmiana*) y Agave verde (*Agave americana*) y comentan que la mayoría de sus compañeros tienen de estas en sus predios.

La forma de producción es similar a las mencionadas para la milpa y el MIAF, esto debido a que en la zona de estudio se han mantenido los conocimientos campesinos sobre el cultivo de la tierra, el ciclo de la milpa comienza de igual forma con la preparación del terreno a principios de año y culmina en los meses de septiembre y octubre, los magueyes son plantados a una distancia de 1 a 2 metros y de 4 metros entre hileras el número de plantas varía pero el promedio es de 400 por hectárea y media que es el tamaño de los predios evaluados. (Figura 16).

Algunas prácticas que llevan a cabo los agricultores son el deshierbe, abonado y la poda., el control de plagas lo hacen a través de productos químicos, sin embargo, evitan usarlo porque están conscientes del daño al suelo y las plantas, y prefieren mantener las condiciones naturales. Sin embargo, mencionan que los principales problemas que enfrentan en su trabajo es la falta de apoyo del gobierno en cuanto a insumos o ayuda en la comercialización para los productos de las excedentes. Además, el fenómeno de migración se ha juntado con la falta de interés de las nuevas generaciones: “los jóvenes ya no quieren trabajar el campo y menos el maguey que hay que esperar hasta 6 u 8 años para que madure y se aproveche”, comenta don Marcelino, también mencionan que es difícil el trabajo por la inversión del tiempo y los insumos y a esto se le suma la dificultad que a veces implica usar tractores por los bordos del maguey.



Fuente: <http://www.pedrodiegoalvarado.com/emergentes/paisajes31big.htm>

Figura 16. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema metepantle

Tal como se describe en el trabajo de Osorio-García *et al* (2015) y Amavizca-Ruiz (2014) la localidad de San Mateo Ozolco ha sufrido los efectos de la migración y la adopción de la pluriactividad., para don Andrés, el metepantle ya no es su sustento, sino que debe apoyarse de otras actividades para poder subsidiar los gastos, por ejemplo, la albañilería. Don Andrés: “Yo he descuidado el campo porque tengo que sacar dinero de otra forma, el abono principalmente es caro y por eso algunas semanas trabajo en algunas obras de construcción” “y los hijos ya no quieren trabajar la tierra y quieren irse al otro lado”.

MONOCULTIVO

Para este trabajo se consideró el monocultivo de maíz por ser un sistema en aumento de utilización en la zona de estudio, debido a diferentes factores como la economía, la “mayor producción” para la venta, la disminución de jornaleros para trabajar ya que se emplean preferentemente nuevas tecnologías para la producción, en esta parte del Valle de Puebla existen registros de la utilización de monocultivos en conjunto con actividades extras para la obtención de recursos económicos (Osorio-García *et al.*, 2015). En este caso el señor Telesforo Morales es dueño de un predio de aproximadamente una hectárea en la que siembra maíz blanco en monocultivo, y la señora Marisol Medina de otro, el proceso para la siembra y cosecha es el que se ha mencionado en la milpa, debido a que son los mismos dueños o familia de ellos (Marisol Medina prima de doña Teresa Medina). Cabe señalar que debido a su conocimiento utilizan buenas prácticas agroecológicas que permiten obtener buenos resultados a pesar de ser monocultivos ya que utilizan en mayor manera abono orgánico, cobertura del suelo, y labranza mínima por mencionar algunas.



Fuente: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000500004

Figura 17. Esquema general que representa el arreglo topológico del sistema monocultivo

BOSQUE (PINO-ENCINO)

Los bosques templados tienen presencia en el país del 20% del territorio nacional (Challenger, 1998; Rzedowski, 1991); del cual alrededor del 14% estaría ocupado por bosques de pino-

encino. Históricamente, los bosques de pino y encino han sufrido un intenso decremento en su extensión y número de especies (Challenger, 1998).

Los suelos dominantes que sustentan a los bosques templados son característicamente someros, con un incipiente desarrollo, como son los Leptosoles y Regosoles, los cuales sostienen en forma conjunta al 58.6% del bosque templado. En la Faja Volcánica Transmexicana dominan los Andosoles y los Luvisoles (Galicia *et al.*, 2015). Hablando de los penúltimos el material parental y el clima son los principales determinantes de las características químicas y físicas de los Andosoles. La ceniza volcánica, proveniente del Iztapopoda da origen a estos suelos, está predominantemente constituida por vidrio volcánico, el cual se intemperiza muy fácilmente dando lugar a la formación de minerales secundarios no cristalinos o de bajo orden estructural (Galicia *et al.*, 2015).

La superficie forestal del Área Natural Protegida Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl es de aproximadamente 28, 307.48 hectáreas cubiertas por bosques de oyamel, bosques cultivados, bosques de pino, bosques de encino, bosques de táscate y asociaciones de este tipo de vegetación, además de áreas de matorral crasicaule, mezquitales, y praderas de alta montaña.

Esta comunidad (pino-encino), junto con los bosques de encino-pino se considera fases de transición en el desarrollo de bosques de pino o encino puros. Este ecosistema está presente tanto en municipios de México como de Puebla y en todas sus regiones, se distribuye en la mayor parte de la superficie forestal de las porciones altas de los sistemas montañosos, la cual está compartida por las diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.), siendo dominantes los pinos. Algunas de las especies encontradas son: *Quercus laurina*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus magnoliifolia*, *Quercus rugosa*, *Quercus hintonii*, *Cupressus lusitanica*, *Pinus lawsonii*, *Alnus jorullensis*, *Pinus oocarpa*, *Ternstroemia lineata* ssp *lineata*, *Arbutus xalapensis*, *Pinus teocote*, *Pinus pringlei* y *Arbutus tesellata* (CONAFOR, 2016).

De igual forma para aprovechamiento forestal se estiman 25,949.50 hectáreas aproximadamente bajo diferentes usos, por ejemplo, actividades de reforestación, brechas contra fuegos, podas, tinas ciegas y limpieza del bosque constituyen alguna fuente de ingresos, sin embargo, para complementar los ingresos, los ejidatarios rentan parcelas para sembrar maíz, haba u hortalizas (González, 2019).

9.3 Conocimientos campesinos de las prácticas agroecológicas

Encuestas y conocimientos campesinos

Para la aplicación de las encuestas se combinaron técnicas cuantitativas y cualitativas, y se estructuraron de acuerdo a cuatro fases: 1) recogida de información general para conocer la zona de estudio; 2) observación *in situ* de la realidad; 3) diseño y aplicación, observación participante, charlas informales, y 4) análisis de resultados.

Se recopiló literatura de interés, se consultaron los sitios oficiales de SEMARNAT, INEGI Y CONABIO para conocer la zona de estudio y sitios como SEDESOL y CONEVAL para conocer

las características socioeconómicas del lugar. Para comenzar la observación *in situ* se realizó un viaje de reconocimiento a la microcuenca con el objetivo de conocer la zona.

Para la confiabilidad de la encuesta se tomó como método de validación el juicio por expertos, de acuerdo a Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez (2008) se define como “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones”. Tras someter a prueba el instrumento a través de esta metodología se busca obtener principalmente como resultado la validez y fiabilidad en la estructura, diseño, contenido y aplicación.

Como estrategia de valoración presenta ventajas tales como la calidad de respuesta que se obtiene por los expertos, el nivel de profundización en la evaluación, facilidad de puesta en acción, la poca exigencia de requerimientos técnicos y humanos y el aporte de experiencia por mencionar algunos (Robles y Rojas, 2015; Cabero y Llorente, 2013; Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez, 2008). El número de jueces que participarán en juicio depende del nivel de experticia y de la diversidad del conocimiento; sin embargo, la decisión sobre cuantos expertos es la adecuada varía entre autores (Cabero y Llorente, 2013; Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez, 2008).

Para este trabajo se realizó un formato de validación por expertos, tomando como base la guía para validar instrumentos de investigación propuesto por la Universidad Adventista de Chile (ANACH, 2020).

De manera general es a través de método de agregados individuales, es decir, la validación la efectúa cada experto de forma individual y sin contacto con el resto de expertos, en este trabajo se consideraron cuatro jueces para la validación del instrumento, como características para la participación fue su experiencia en campo y el área social, además de su conocimiento en el trabajo con encuestas aplicadas a un grupo de personas y por el conocimiento del tema en relación al objetivo de identificar los conocimientos locales, además dos de ellos tienen relaciones sociales en la zona de estudio.

Una vez que se obtuvieron las puntuaciones de todos los expertos, a cada sección del instrumento, y la adecuación y pertinencia de las preguntas, se realizó un promedio del puntaje y se consideró que, si el resultado fue de 4 o más, entonces la pregunta se consideró validada (Anexo 4).

Las localidades que se encuentran en las faldas del volcán paulatinamente sufren un proceso de urbanización, ha permeado en la mayoría la utilización de tecnología, por ejemplo, para el abastecimiento de agua potable, además del uso en la agricultura, sin embargo, aun encontramos pobladores que buscan este recurso en los pozos y nacimientos de agua cerca de los volcanes donde solo se puede acceder a través de veredas y con la ayuda de los animales de carga, que aún se observan a orilla de carretera cargados de herramientas para el campo y de algunos de los productos agrarios de los campesinos.

El objetivo principal de este primer acercamiento no participante fue para ubicar parcelas de los diferentes sistemas productivos que se utilizan en la región (milpa, metepantle y milpa intercalada con frutales, monocultivo) y acercarnos a los campesinos que estuvieran dispuestos a participar en la investigación, para lograr esto participó un portero que nos fue insertando en el ambiente de la zona de estudio, en este caso fueron los directivos y algunos profesores del CBTA 255 del municipio de Calpan, ya que esta institución mantiene un trato constante con los diferentes productores de la región en la realización de proyectos que involucran a ellos mismos y a la población estudiantil.

Se elaboró un instrumento de recopilación de información para la recuperación de los saberes tradicionales y el manejo de los agroecosistemas en la microcuenca Atlautla, a partir de una encuesta que involucró al investigador (mediante la obtención de datos con las charlas informales y la observación participante) y a los informantes clave de la población de campesinos seleccionados y que aceptaron contribuir a la investigación, es decir, se consideró una población finita y un método de muestreo no probabilístico por conveniencia (CIMA, 2019), teniendo como resultado variables cualitativas de escala nominal.

Las personas que se encuestaron cumplieron con criterios de inclusión como ser los propietarios (por consiguiente, que fueran los que trabajan su tierra), y con experiencia en el campo mínima de 30 años (Núñez, 2004; Gómez-Espinoza y Gómez-González, 2006; Vergara-Buitrago, 2018). Generar y aplicar la encuesta conllevó conocer los saberes campesinos relacionados con sus agroecosistemas (Trindade, 2016), posteriormente se organizaron con base en la tipología propuesta por Núñez, 2004 en: saberes salvaguardados, saberes hibridados, saberes sustituidos y saberes emergentes.

Estar en campo permitió, a través de la observación como técnica, aproximarnos a la realidad geográfico-social en su dimensión real y existente, es decir, a escala 1:1 (González, 2005). Dicha técnica nos permitió obtener información de registro y de primera mano sobre manejo de suelo, procesos socioproductivos en la zona, aspectos culturales y hábitos de consumo.

El cuestionario aplicado estuvo conformado por 18 preguntas, aplicado a 17 campesinos. Las preguntas permitieron obtener información general del manejo de los agroecosistemas de los productores. Se incluyeron preguntas para identificar los procesos generales de trabajo en las parcelas. Para identificar saberes tradicionales se cuestionó sobre la preparación de la tierra y las técnicas agroecológicas que llevan a cabo.

De acuerdo con Mora (2012), el diálogo de saberes consiste en pensar y fundamentar la existencia de otras formas de producir y consumir saberes/conocimientos, es decir en este contexto de investigación habrá que crear o seguir existiendo un dialogo entre campesinos-campesinas y científicos, dónde la construcción y apropiación de conocimiento sea mutuo y se refleje en la sociedad y el ecosistema. El trabajo del campesinado, como cualquier proceso productivo por simple que aparente ser, está inmerso en un conjunto de ideas, conocimientos, valores, definiciones y creencias que interactúan con una estructura productiva específica y que tienen bases culturales que se mueven a través de generaciones (Argueta *et al.*, 2011).

A partir del trabajo de campo realizado en el municipio de Calpan y sus alrededores se propiciaron con ayuda del CBTA encuentros participativos donde se pudo además de observar, compartir conocimientos a través de charlas informales con los productores de la región, como se mencionó antes, se aprovecharon reuniones programadas por el personal de la institución educativa, donde los campesinos formaron parte de programas propuestos por el plantel, pero que sirvieron para tomar notas y registros de las transmisiones de información oral que se suscitaban en esos momentos.

Algunos de los campesinos y campesinas hablan de un despertar en el interés de aprovechar económicamente sus tierras, pero afortunadamente a través del uso de estrategias naturales, que permitan la sustentabilidad y de igual forma productos que permitan ser compartidos mediante la comercialización. En los últimos 20 años la región de estudio a través de propuestas públicas del gobierno local, se han realizado eventos que han puesto en el mapa estatal nuevamente a estos municipios, por ejemplo, la feria de chile en nogada, la feria del pulque, los recorridos ecoturísticos y culturales, entre otros.

El poder ir a campo y tomar registros de los comentarios de los grupos de campesinos permite analizar los aspectos generales de consumo del lugar donde en los pequeños tianguis que se establecen en los municipios es evidente quienes toman de sus excedentes provenientes del campo para vender en otro lugar a pesar de su cercanía, pero también existen quienes compran en mercados grandes a las a fueras de la región para vender en la zona de estudio. No solo es un intercambio de productos si no que tiene su aspecto cultural ya que a veces las variedades de frijol y maíz, por poner un ejemplo, suelen ser distintas dependiendo de la localidad donde se extrajeron y estas están influenciadas por la forma de cultivo y las tradiciones, sin embargo, las formas de manejo tradicionales convergen.

Además de estas observaciones se pudo percibir los problemas sociales a los que se enfrentan diferentes estratos de edades en las comunidades, por ejemplo, los campesinos que en su mayoría son personas de más de 50 años se sienten un tanto preocupados por el aumento de la migración de los jóvenes y por la falta de interés en el campo de los que están aún en la comunidad, para esto confían en poder utilizar sus conocimientos tradicionales en contra de las actuales crisis ambientales para generar alimentos sanos y que no contengan químicos dañinos como ellos los mencionan.

De acuerdo a los resultados descriptivos se generaron gráficas, de las cuales para elaborarse fueron seleccionadas las preguntas las que cuyo resultado fue útil para identificar el manejo de los agroecosistemas y los saberes campesinos, con el fin de clasificarlos de acuerdo a una tipología establecida por Núñez (2004). Para la creación de base de datos y la salida de gráficas descriptivas se utilizaron los programas de Excel (Office) y el software de programación Rstudio (Figura 18-25).

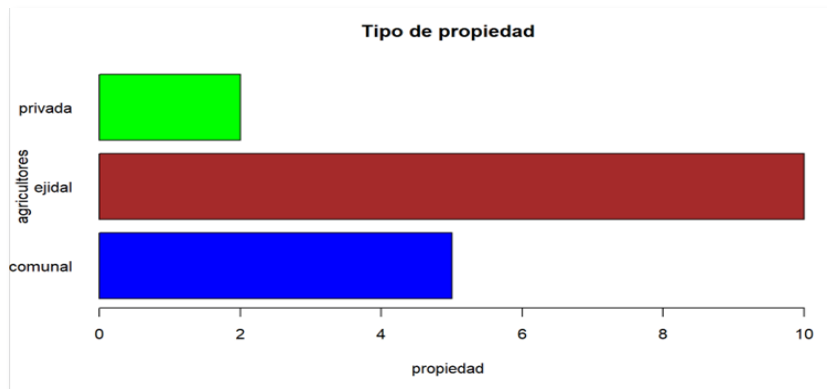


Figura 18. Número de agricultores y tipo de propiedad. El ejido es la propiedad con mayor número de agricultores.

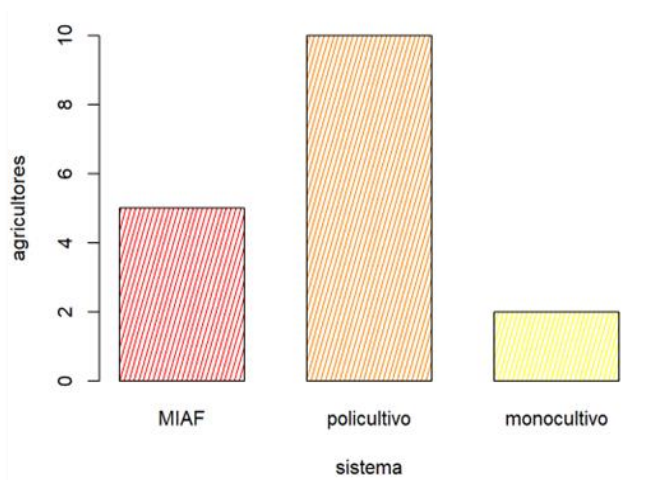


Figura 19. Número de agricultores y tipo de sistema. El policultivo (milpa) primer lugar, seguido del sistema MIAF.

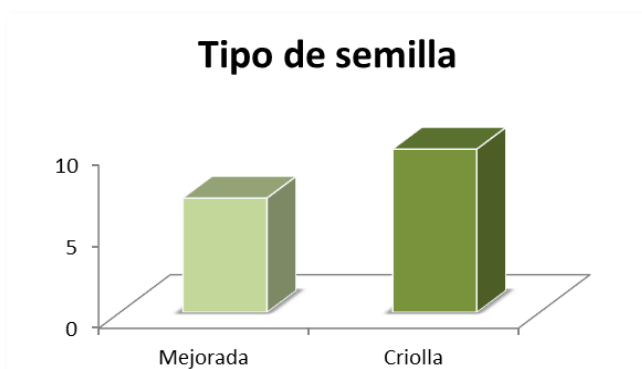


Figura 20. Número de agricultores y tipo de semilla que usan. La criolla es la más elegible, pero la diferencia es muy poca.



Figura 21. Tipo de fertilizante utilizado por los agricultores, la mayoría de ellos prefiere utilizar una combinación entre lo natural y lo químico

Utilizacion de fases lunares

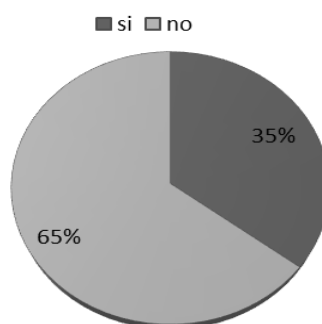


Figura 22. Fases lunares. El 65% de los campesinos no se basan en las fases lunares para el cultivo.



Figura 23. Agricultores y herramienta para preparar el suelo. El rastrillo-tractor son los más utilizados.

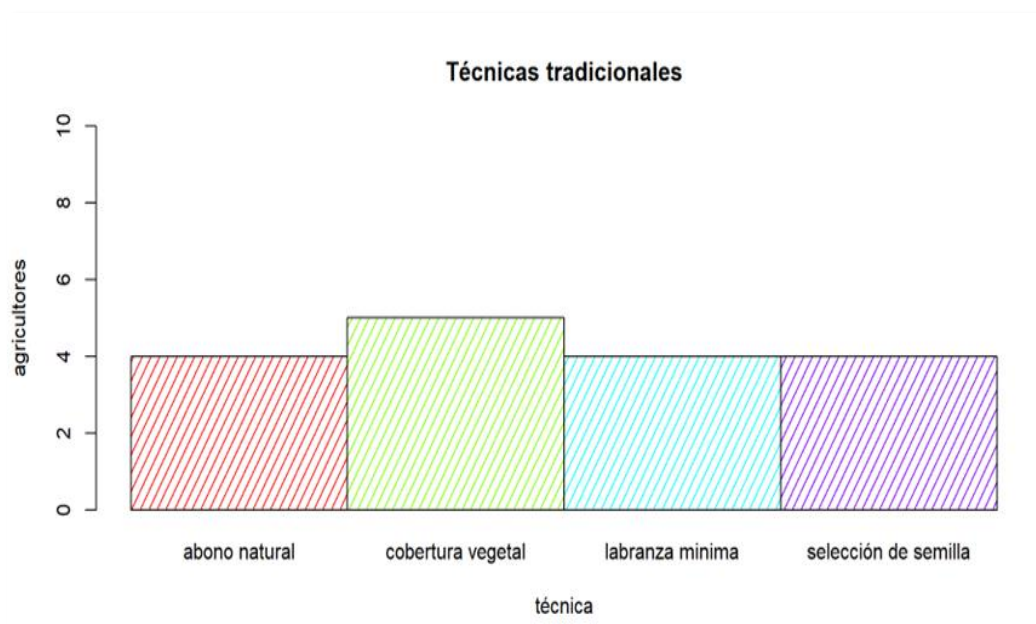


Figura 24. Agricultores y técnica tradicional. El número de agricultores que usan técnicas tradicionales es similar.

Técnicas tradicionales por sistema de cultivo					
	labranza minima	uso de abono natural	cobertura vegetal	selección de semilla	totales
Monocultivo	1(50%)	0	0	1(50%)	2(11.7%)
Policultivo	3(30%)	2(20%)	2(20%)	3(30%)	10(58.8%)
MIAF	0	2(40%)	3(60%)	0	5(29.4%)
totales	4(23.5%)	4(23.5%)	5(29.4%)	4(23.5%)	17(100%)

Figura 25. Tabla de contingencia entre los sistemas de cultivo y las técnicas tradicionales en frecuencia y porcentaje. En general todas las técnicas tienen una presencia similar en los sistemas, el policultivo (milpa) es sistema con más técnicas (58.8%) y la cobertura vegetal es la más utilizada en los sistemas (29.4%).

El desarrollo de la estadística descriptiva en este trabajo nos permite generar suposiciones y encontrar asociaciones, se pueden denotar asociación entre variables, generando hipótesis que se pueden probar a este nivel descriptivo mediante los resultados de tablas de frecuencia, de las gráficas y de las tablas de contingencia.

Para identificar y clasificar los saberes se tomaron en cuenta las preguntas que permitieron asociar conceptualmente las respuestas con prácticas que mejoran las condiciones del suelo, además que son de sobra conocidas como estrategias ancestrales que se han demostrado como benéficas en el sentido de generar menos daño al suelo, para la zona de estudio el mayor porcentaje en frecuencias hace referencia al mantenimiento de saberes que se basan en utilización de sistemas beneficios (policultivo) como la milpa y en técnicas ancestrales que se comparten con la agroecología.

De acuerdo a la literatura, es de sobra conocido cómo las comunidades indígenas han aprendido a observar ciertas señas que brinda la naturaleza, una serie de prácticas y saberes muy ingeniosas que definen cómo sembrar y el manejo ecológico que se le debe dar no sólo al suelo sino al agua, a los cultivos, a la crianzas y que se han observado como claves para la sostenibilidad en diferentes agroecosistemas. Con la ordenación y observación de la información y análisis en campo y de las respuestas, en las gráficas se puede identificar los saberes salvaguardados (conocimientos intactos ancestrales), híbridos (combinación entre conocimiento ancestral y nuevo), sustituidos (conocimientos nuevos que sustituyen a los de antes) y emergentes (producto de la interacción con las culturas occidentales) (Tabla 5).

Saberes campesinos.

Clasificación de saberes campesinos de acuerdo a la tipología de Núñez (2004).

Tipo de saber	Saber identificado
Salvaguardados	Utilización de fases lunares (asociado al crecimiento del cultivo y la estación de lluvia). Policultivo (la combinación de diferentes especies en el cultivo).
Híbridos	Uso de rastrillo y tractor para preparar la tierra. Uso de fertilizantes (combinación entre abono y uso de agroquímicos)
Sustituidos	Rituales para la preparación del cultivo, (ejemplo, ceremonias religiosas para pedir el favor de santos para un buen cultivo).
Emergentes	El tipo de semilla (el uso semilla mejorada, está creciendo en la zona). Agricultura como actividad secundaria (pluriactividad por las exigencias económicas emergentes).

Tabla 5. Clasificación de saberes campesinos.

9.4 Estimación de carbono orgánico del suelo (COS) en los sistemas agroecológicos de la microcuenca Atlautla, Puebla.

Caracterización física-química de suelo

Se prepararon las muestras para ser analizadas. En primer lugar, fueron puestas a secar al aire libre durante 72 horas, para posteriormente tamizar con malla de apertura de 2 mm, se etiquetaron y almacenaron. Los análisis de las muestras se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas (CICA) del Instituto de Ciencias (ICUAP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Se utilizaron las técnicas descritas en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Tabla 6).

Tabla 6. Pruebas físico-químicas mediante la NOM-021-SEMARNAT-2000.

	Propiedades del suelo	Unidades	Método
Propiedades físicas	Densidad aparente (DAP)	g/cm ³	Cilindro conocido Rügnitz <i>et al</i> (2009)
	Textura de suelo	Clase textural (CT)	AS-09
	Fragmentos gruesos (FG)	%	Balanza
	Porcentaje de humedad	%	AS-05
Propiedades químicas	pH en agua (1:2) (pH)	Escala 1-14	AS – 02
	Conductividad eléctrica (CE)	dS m	AS – 18
	Carbono orgánico (COS)	Mg/ha	Walkley-Black (AS-07)
	Materia orgánica del Suelo (MOS)	%	Walkley-Black (AS-07)
	Capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables	Cmol (+) kg ⁻¹	AS - 12

Las muestras de suelo de los diferentes tipos de agroecosistemas asociados a la microcuenca de Atlautla, fueron caracterizados tomando en cuenta sus propiedades físicas (Tabla 7) y químicas. Para todas las muestras los resultados, se resumen en las siguientes tablas y figuras.

Tabla 7. Características físicas del suelo de las parcelas. Densidad aparente, porcentaje de humedad (%H₂O) y fragmentos gruesos (%FG). Los resultados son el promedio de tres replicas ± la desviación estándar.

Características físicas del suelo				
Sitio	Agroecosistema	Densidad aparente g/cm ³	% H ₂ O	FG%
1	Milpa	1.11 ± 0.029	55.5	16.7
2		1.08 ± 0.002	17.9	16.9
3		1.071 ± 0.002	18.4	30.4
4	MIAF	1.055 ± 0.014	57.7	36.3
5		1.26 ± 0.007	44.6	28.7
6		0.889 ± 0.0887	12.6	16.3

7	Metepantle	0.522 ± 0.005	10.1	15
8		0.943 ± 0.005	11.2	22.6
9		0.717 ± 0.002	12.3	16.6
10	Monocultivo	1.31 ± 0.013	32.2	15.8
11		1.19 ± 0.004	36.6	13.8
12		0.866 ± 0.004	31.2	20.7
13	Bosque	0.64 ± 0.010	57.3	29.9
14		0.818 ± 0.003	56.6	55.6
15		0.513 ± 0.004	62.7	37.2

La densidad aparente registrada para el sitio de sistema de bosque de pino-encino muestra diferencia significativa (0.64 g/cm^3) con respecto al resto de los agroecosistemas. Debido al tipo de suelo andosol, estos datos concuerdan con Porta y López-Acevedo (2005) y FAO (2009) donde se menciona que los suelos formados a partir de materiales volcánicos a menudo presentan una densidad aparente de 0.9 g/cm^3 o menos. En segundo lugar, el monocultivo del sitio tres presentó la puntuación más grande de densidad aparente (1.31 g/cm^3). En general el proceso de expansión/contracción del suelo varía por diferentes factores y en los cultivos por el manejo principalmente, la diferencia entre las densidades respecto a los mismos sistemas posiblemente es debido al efecto de la mecanización de los horizontes superficiales generando una variación de resultados en el grado de compactación de suelo (Novillo *et al.*, 2018).

El porcentaje de arena, arcilla y limo fue similar para todas las muestras de suelo, por lo que mantiene propiedades de suelos arenoso-franco y franco-arenoso (Figura 26), por ejemplo, buena permeabilidad, retención de agua y de nutrientes. Se observa que para los fragmentos gruesos los sistemas de monocultivo presentan diferencias respecto a los demás con valores por encima de 35%, de acuerdo a Fernández-Sanjurjo (2003) la proporción óptima de fragmentos oscila entre 10-30%. Debido a las características de la densidad y textura se presentan valores parecidos para todos los sitios sobre el porcentaje de humedad, lo que indica una favorable retención de agua para el crecimiento de las plantas.

Textura en los agroecosistemas de la microcuenca Atluatla

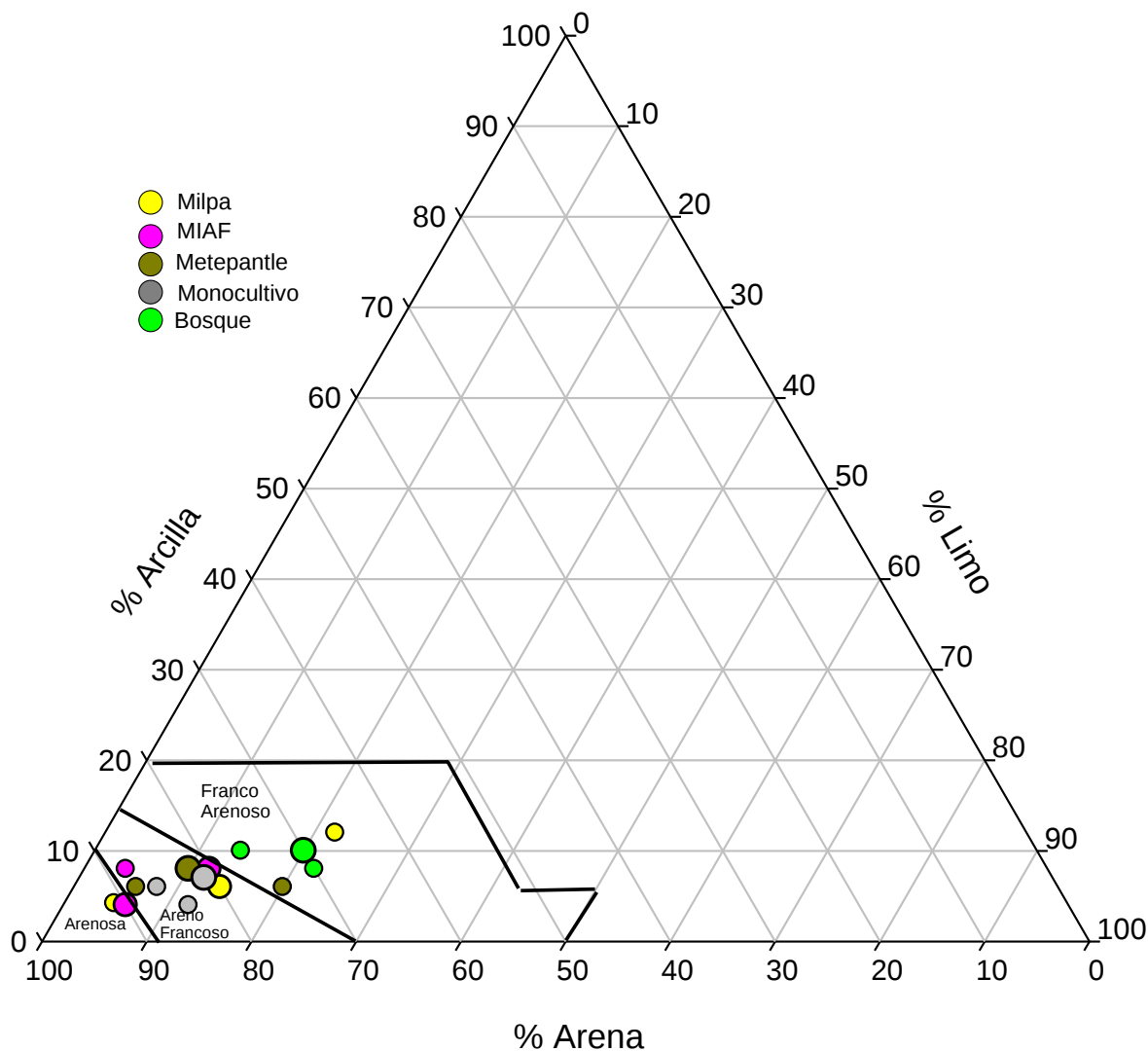


Figura 26. Textura del suelo en las parcelas y clasificación conforme al porcentaje de arena, limo y arcilla.

La caracterización sobre las propiedades químicas de los suelos muestreados se resume en las siguientes gráficas. De acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, 80% de los suelos están en un rango de ser suelos moderadamente ácidos (Figura 27), debido al tipo de suelo (Jaramillo, 2002). Los valores del sitio 5, 7 y 8 son suelos que han sido tratados con prácticas de encalado, provocando el aumento del pH, sin embargo, el manejo del sistema debe estar relacionado con el resultado de los valores ácidos, en este caso puede existir mala calidad de materia orgánica que no genera agregados cementados que puedan retener cationes en el suelo se tienda a valores más neutrales (Porta y Roquero, 2003). Los datos para la conductividad (Figura 28), en

todos los sistemas muestreados, se interpretan de acuerdo a la norma como con efectos despreciables de la salinidad.

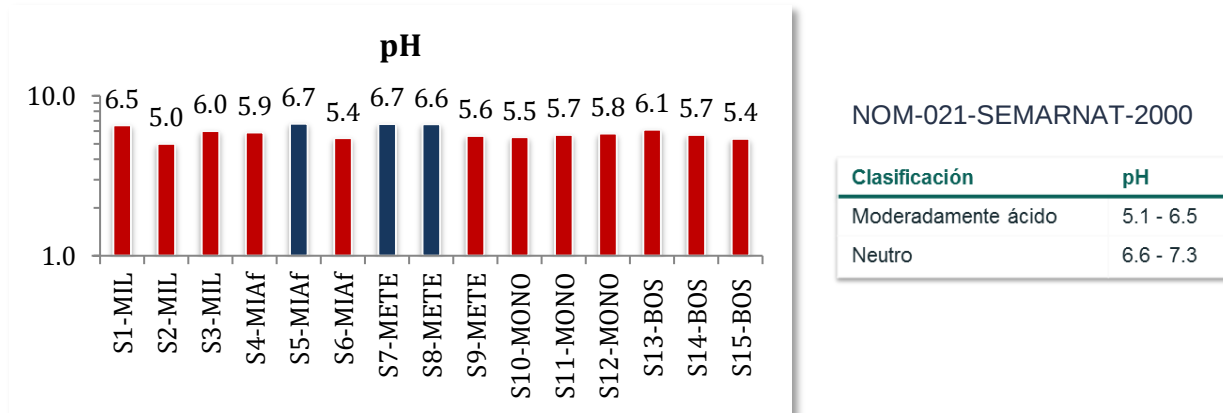


Figura 27. pH del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.

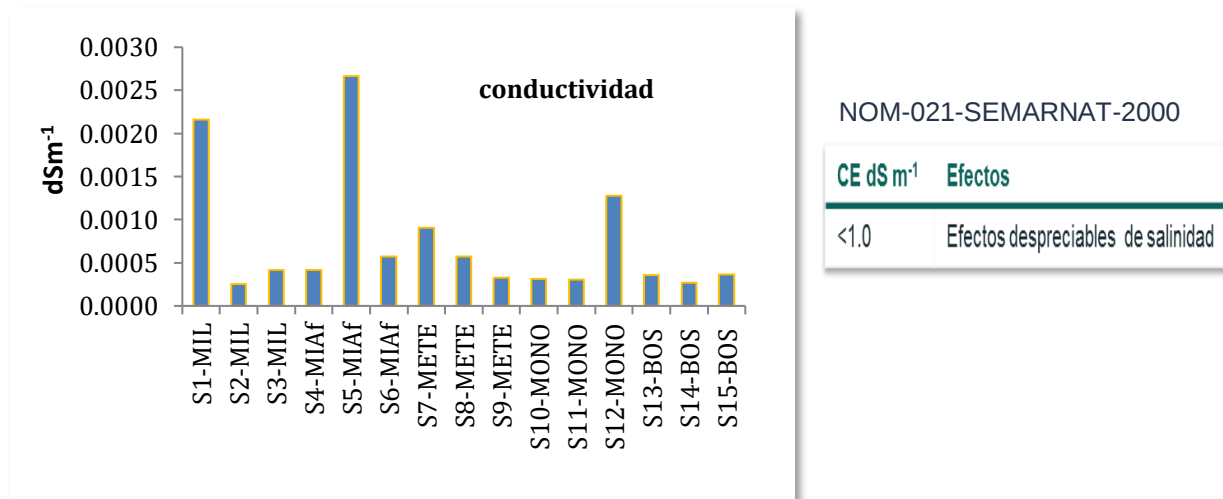


Figura 28. Conductividad eléctrica del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.

En los suelos estudiados el promedio de CIC (sin tomar en cuenta la referencia de bosque) es de 14 cmol (+) kg⁻¹, de acuerdo a la NOM-021 están clasificados como baja (Figura 29). Los valores más bajos se encontraron en los sitios 5, 11 y 4 sin embargo de acuerdo a la observación de los sistemas se observa que se ha agregado materia orgánica recientemente lo que puede explicar esta baja CIC en relación a los resultados obtenidos de porcentaje de MOS, es decir, posiblemente el suelo está en proceso de asimilación de la materia a través de los organismos edáficos. También el tipo de arcilla que está presente en el suelo es factor de acuerdo a su capacidad de retención de las bases intercambiables y en consecuencia evitar su lavado que genera una disminución de igual manera en la CIC y por consiguiente las bases intercambiables. Los valores medios y altos pueden ser explicados por la agregación de MOS a

través del tiempo en cada ciclo de cultivo por los productores, además de realizar deshierbe controlado en sus predios.

En relación con el pH en rangos entre 5 y 5.5 encontrado en los suelos, la CIC podría estar afectándose en el porcentaje de saturación de bases generando una disminución en esta, por la aparición de aluminio asimilable en suelo para las plantas, es importante mencionar que los productores no mencionan como tal un problema en la fertilidad, pero sí que buscan aportar materia orgánica para mejorar el crecimiento de las plántulas particularmente, esta acción podría incrementar la CIC.

La CIC depende de los colides inorgánicos, que pueden depender del manejo, y del contenido de MOS. Puesto que los cationes Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , se encuentran involucrados en el crecimiento de las plantas, en la zona de estudio la mayor aportación de nutrientes es a través de abonos orgánicos, y en algunos casos mediante fertilizantes químicos. Para estos resultados la mayoría caen en el rango de bajo (Figura 30) de acuerdo a la norma, esto puede deberse a la adición de abono que se hace durante una sola parte durante el ciclo de cultivo, al momento de tomar la muestra ya había pasado la cosecha, por lo que muchos de los suelos habían perdido cobertura por el uso del rastrojo como alimento de ganado, generando procesos de lixiviación en el suelo por lluvias principalmente. Además, el porcentaje de textura arenosa en los suelos genera una capacidad baja en la retención de cationes.

De acuerdo Martínez et al (2008) la forma más común de interacción entre COS y cationes es mediante reacciones de intercambio catiónico, esto es entre los grupos carboxílicos (-) y los cationes (+). En este sentido el grado de acidez juega un papel importante en el aumento o disminución de estas reacciones, si ocurre lixiviación puede haber pérdida de cationes aumentando la acidez en suelo, también uso excesivo de fertilizantes nitrificantes teniendo el mismo efecto, impidiendo la complicación de los materiales inorgánicos por la MOS afectando la fertilidad (Martínez, *et al.*, 2008).

El resultado de la relación carbono nitrógeno se resume en la Tabla 8 y Figura 31. La C/N se encuentra entre 4 y 15 en la microcuenca, en general bajo nivel de descomposición de la materia orgánica y una lenta mineralización, característico de climas fríos (Ayala y Almanza, 2021), como es el caso de los sitios cercanos al bosque Izta-Popo y los que presentaron mayor porcentaje de MO, sin embargo, los valores bajos corresponden a una mineralización constante de la materia orgánica de acuerdo a lo observado por la falta de cobertura del suelo (Herzfeld *et al.*, 2021).

Por otro lado, se ha reportado como la aplicación constante de fertilizantes nitrogenados ocasiona una reducción del COS, disminuye la biomasa microbiana y afecta la relación C:N (Amores, 2020; Acosta *et al.*, 2019). De acuerdo a la información proporcionada por los agricultores la mayoría evita sobrecargar sus suelos con químicos, principalmente porque perciben un daño a la salud si se abusa de ellos.

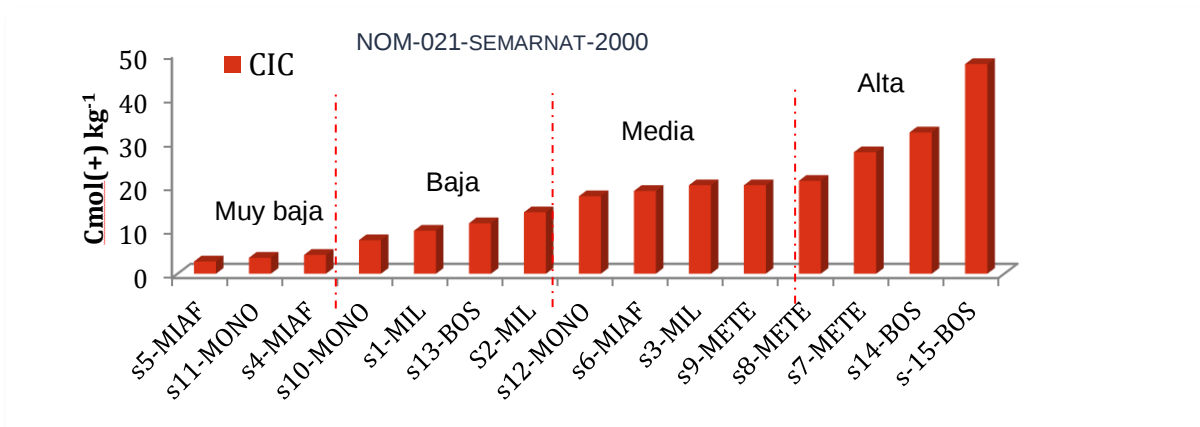


Figura 29. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.

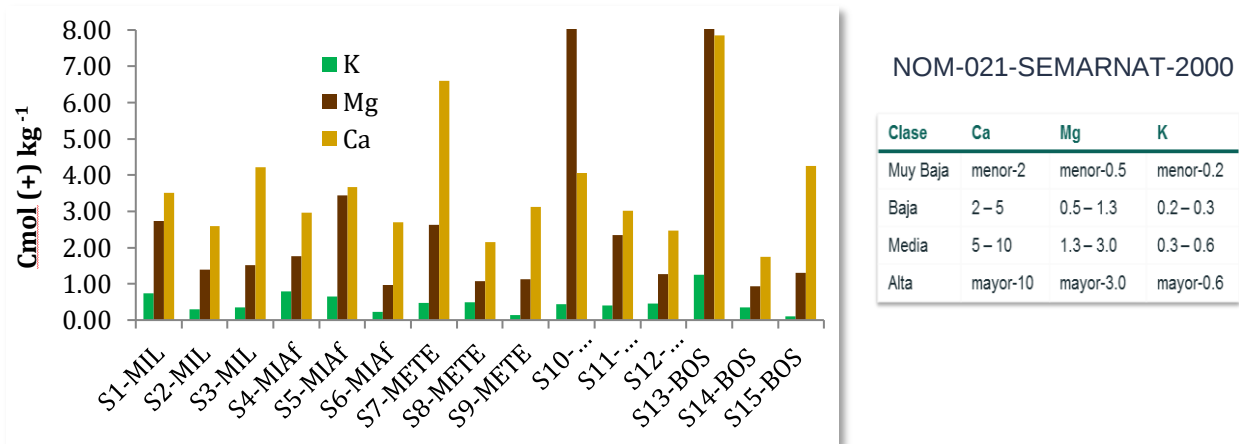


Figura 30. Bases intercambiables del suelo en las parcelas y clasificación conforme a la NOM-021. Los resultados son el promedio de tres replicas.

Relación C / N					
s	Agroecosistema	C: N	s	Agroecosistema	C: N
1	Milpa	18	9	Metepantle	11.4
2	Milpa	7.8	10	Monocultivo	15.4
3	Milpa	4	11	Monocultivo	10.7
4	MIAF	13.5	12	Monocultivo	8
5	MIAF	12.4	13	Bosque	11.9
6	MIAF	6.8	14	Bosque	10.3
7	Metepantle	14.6	15	Bosque	14
8	Metepantle	7.2			

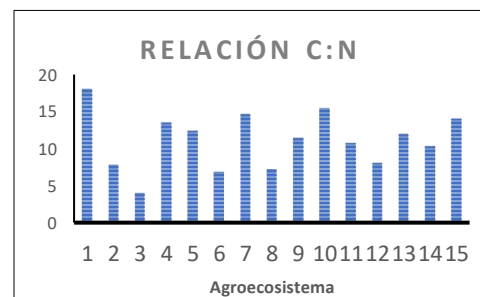


Tabla 8. Relación carbono/nitrógeno en los agroecosistemas

Figura 31. Relación C: N

Carbono orgánico del suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo a través de los efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento de los cultivos (Martínez *et al.*, 2008), y a la vez el COS se ve afectado por el manejo de los agroecosistemas.

En los agroecosistemas evaluados en la microcuenca Atlauta se encontró una media de 129 Mg/ha. El resultado puede ser explicado en parte por las propiedades ándicas del suelo, por ejemplo, los complejos organominerales presentes en suelos volcánicos, también puede influir el manejo a través del conocimiento campesino en el uso de técnicas de conservación.

Se observa variabilidad (por la desviación estándar) en la cantidad de carbono, probablemente a las diferencias entre las cantidades de COS que muestran ser significativas entre agroecosistemas. En este estudio el valor máximo fue de 332 Mg/ha en el sistema MIAF y un mínimo de 30 Mg/ha en milpa, de acuerdo a lo observado en los sitios el aporte de materia orgánica podría tener gran influencia en la cantidad de carbono.

En cuanto a las variables utilizadas para el cálculo del COS, se encontraron valores de densidad aparente están dentro de un rango de 0.52-1.32, con una media de 1g/cm³ lo cual es consistente con lo reportado en la literatura (Porta y López-Acevedo, 2005; FAO, 2009). (Tabla 9).

Tabla 9. COS: carbono orgánico del suelo (Mg/ha), C (%): porcentaje de carbono, DAP: densidad aparente del suelo, FG: fragmentos gruesos.

Estadística descriptiva de las variables usadas para el cálculo del COS (Mg/ha)			
Propiedad del suelo	Media	Mínimo	Máximo
COS (Mg/ha)	129 ± 103	30.06	332.13
C (%)	1.95 ± 1	0.55	3.05
DAP (g/cm ³)	1 ± 0.12	0.52	1.32
FG (%)	20.5 ± 7	13.83	36.31

La densidad aparente del suelo (DAP) junto con los fragmentos gruesos indirectamente se relacionan con la cantidad de carbono en el suelo, puesto que influyen en procesos de acumulación de la materia orgánica. La compactación del suelo como medida indirecta de la densidad, consiste en una reducción del espacio poroso por causa de una carga aplicada a la superficie del suelo (Kulli, 2002). Es importante mencionar la relación DAP-MOS ya que se ha estudiado que a medida que aumenta la materia orgánica y el espacio poroso disminuye la DAP y viceversa (Rubio, 2010; Martínez *et al.*, 2008; Salamanca y Sadeghian, 2005; Wolf y Snyder, 2003).

De acuerdo a los resultados obtenidos (Figura 32) se observa esta tendencia de manera general, sin embargo, hay sitios (1, 4, 5, 10, 11) que a pesar de un mayor DAP respecto de algunos otros contienen mayores niveles de MOS, esto podría explicarse por las constantes adiciones de materia orgánica que se han observado en las parcelas, de acuerdo a Carter (2002) la mantención de adecuados niveles de materia orgánica contribuye a disminuir la densidad y resistencia a la compactación paulatinamente. Es por esto que prácticas como la labranza mínima que se practica en algunos predios de la zona de estudio debe mantenerse constante y aumentarse, al igual que la cobertura vegetal debido a que los efectos suelen ser temporales sin el aumento de MOS y el continuo movimiento del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

La adopción de mejores prácticas y constancia a través del tiempo impulsan cambios en la concentración del COS, particularmente las enmiendas orgánicas y labranza de conservación (Crystal-Ornelas *et al.*, 2021) En un estudio realizado por Yescas-Coronado *et al* (2018) los mayores valores de COS se relacionaron con suelos que incrementaron la cantidad de MO mediante enmiendas orgánicas teniendo valores aproximados de 120 Mg/ha⁻¹ en cultivos agroforestales, en comparación con este trabajo son valores menores con respecto del MIAF.

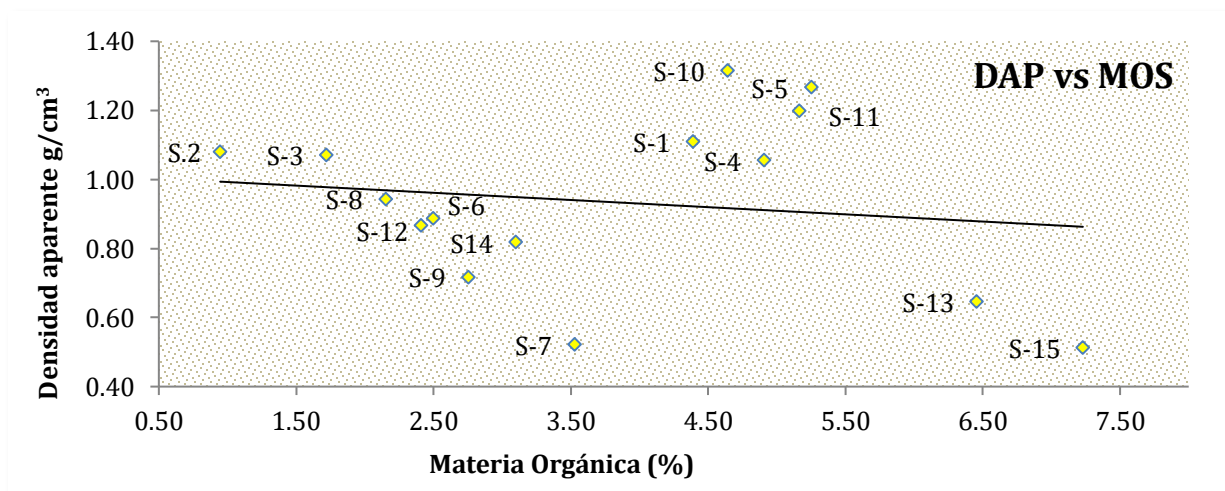


Figura 32. Relación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica en los sitios muestreados.

En cuanto a la materia orgánica estimada, la interpretación de la NOM-021 para el porcentaje de MO en suelos volcánicos se presenta en bajo a excepción del sitio de bosque pino-encino que es clasificado como medio (Figura 33). Al incorporar MO al suelo aumenta la estructuración de los agregados, que ayudan a preservar micro y macronutrientes (Soto-Mora *et al.*, 2016), en la zona de estudio los agricultores utilizan cobertura vegetal, abonos orgánicos y mantienen un control de las hierbas para eliminarlas manteniendo la materia y aprovechando su descomposición en relación con otros trabajos que presentan valores más bajos de materia orgánica (Álvarez *et al.*, 2020; Castelán *et al.*, 2016; Soto-Mora *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2015; García *et al.*, 2014), estos suelos agrícolas están presentando un valor mayor de MO, que de acuerdo a sus prácticas tradicionales se esperaría su mantenimiento o incluso aumento,

siempre y cuando las actividades antrópicas relacionadas a malos manejos, especialmente despojar al suelo de residuos vegetales, no provoque una rápida mineralización de la materia orgánica.

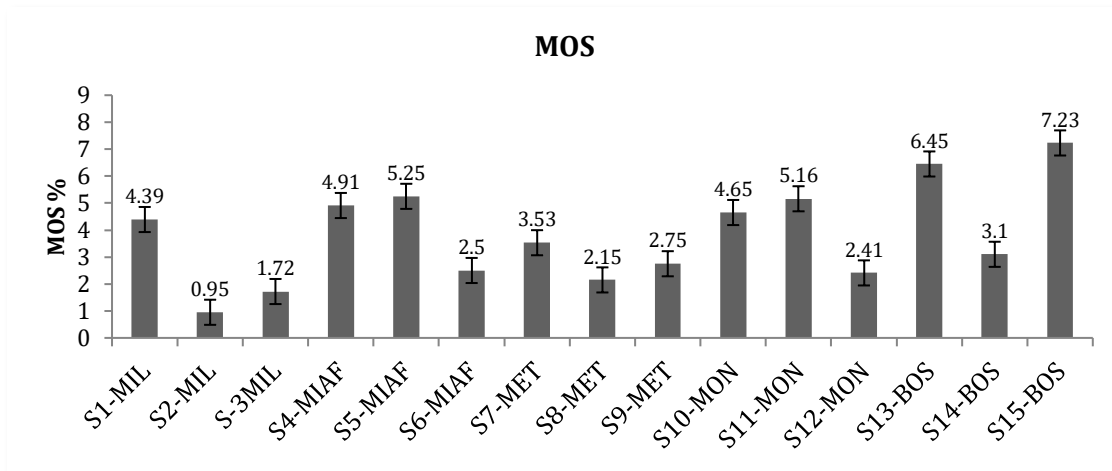


Figura 33. Porcentaje de materia orgánica (MOS) del suelo en las parcelas muestreadas. Los resultados son el promedio de tres replicas.

De acuerdo a los resultados obtenidos de COS, Se comprobó la distribución normal de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk ($p\text{-valor} > 0.05$) y para la homogeneidad de varianzas el test de Barlett ($p\text{-valor} > 0.05$). Posteriormente se realizó una prueba de ANOVA de un solo FACTOR, de la cual se obtuvo: $F(1.93E07) > F(2.08)$ (α) $p\text{-valor} < 0.05$, resultando diferencias entre las medias de los grupos respecto a la variable respuesta COS (Anexo 5A).

En la Figura 34 se observan diferencias significativas en la cantidad de Mg/ha^{-1} de COS en los diferentes sistemas (1-15) ($p < 0.05$) y los grupos formados de acuerdo a la comparación de TUKEY $\alpha = 0.05$. Destacando que la mayor acumulación se presenta en los sistemas donde se intercalan árboles frutales con milpa, seguido del bosque de pino-encino. Estos sistemas simultáneos (MIAF) en la zona se manejan bajo prácticas sostenibles que se han mezclado con los saberes tradicionales de los campesinos, sobre todo en el manejo de la tierra, la adición de materia orgánica y el uso de coberturas vegetales., en estos se privilegia el reciclaje de nutrientes y la vegetación perenne.

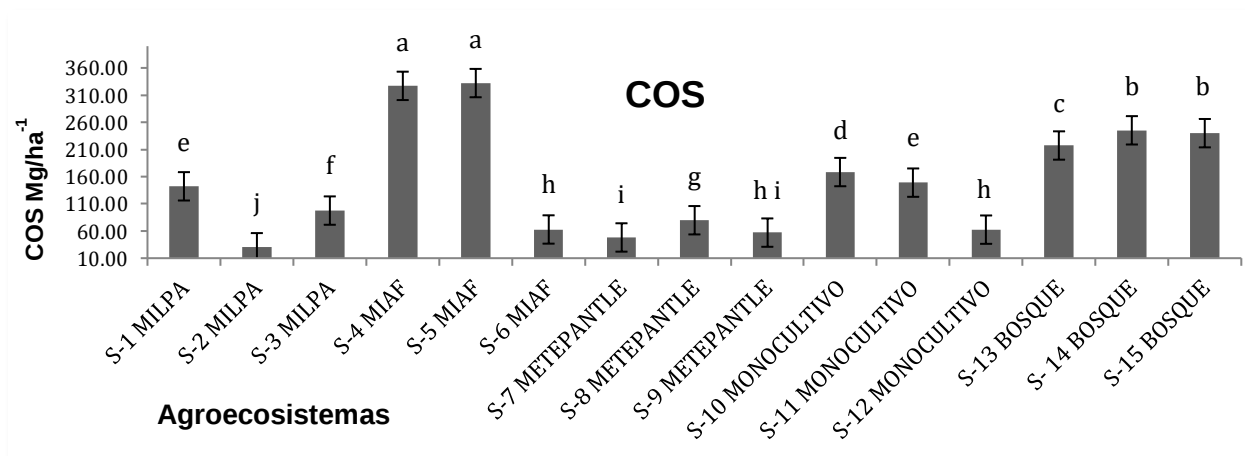


Figura 34. Estimación de COS para cada agroecosistema, la prueba ANOVA predice un p-valor= 0.00 a un nivel de confianza de $\alpha=0.05$ por lo que hay diferencias significativas en la cantidad de COS en los sistemas. De acuerdo a la prueba de TUKEY ($\alpha=0.05$) las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En estos sistemas agroforestales, el potencial de captura varía entre 12 y 228 Mg/ha⁻¹ (Zamora-Morales *et al.*, 2018) para zonas tropicales húmedas, en estos resultados los valores están por encima de ese valor de referencia, podría deberse a las características propias del tipo de suelo volcánico que tiene características mineralógicas importantes, al contener Al (aluminio) activo se encuentran en forma de Al-humus con grandes cantidades de alófonos (imogolita, ferrihidrita) que tienden a la acumulación de carbono más estable (Rodríguez *et al.*, 2004), junto con la incorporación de materia orgánica a través de la descomposición de la materia vegetal y el uso de estiércol como abono, además que se ha tomado como referencia los primeros treinta centímetros del suelo, en lugar de veinte como se menciona el trabajo mencionado.

En comparación con los trabajos de (Aguilar, 2022; Soto-Mora *et al.*, 2016; Villegas, 2014; Eiza *et al.*, 2005;) para el caso del sistema milpa evaluado en esta trabajo resulto de valores mayores de carbono orgánico (142.20 Mg/ha⁻¹), esto se puede relacionar con la zona donde se encuentra la parcela, cerca del volcán, que aporta suelo que genera la retención de MO y la aportación de materia orgánica por cobertura vegetal, también en esta zona los agricultores preparan el terreno bajo labranza mínima, lo cual reduce la probabilidad de oxidación de la materia orgánica, permitiendo su acumulación (Vergara-Sánchez *et al.*, 2004).

En contraste con los resultados observados por cada sitio de muestreo y agroecosistema se agruparon por sistema, es decir, se comparó la cantidad de carbono orgánico del suelo entre la milpa, MIAF, metepantle, monocultivo y el bosque como testigo, cada uno formado por tres sitios. Como primer resultado en la Tabla 10 se muestra la estadística descriptiva, resaltando que el promedio máximo de COS se encuentra en el MIAF seguido del bosque. El valor alto de la desviación estándar es debido a la gran variabilidad de los datos por sitio.

Tabla 10. Estadística descriptiva de los sistemas evaluados.

COS estimado (Mg/ha ⁻¹)	Min.	Q1	Prom.	Med.	Q3	Máx.	Desv/Est.	Asim.
Milpa	30.1	30.1	89.9	97.6	2.550	142.2	56.5	-0.060
MIAF	62.8	62.8	240.6	327.0	332.1	332.1	154.0	-1.73
Metepantle	48.10	48.10	61.65	57.04	79.81	79.81	16.35	1.17
Monocultivo	62.5	62.5	126.6	149.0	168.4	168.4	56.4	-1.50
Bosque	217.29	217.29	233.92	239.23	245.23	245.23	14.71	-1.41

Para la comparación de medias nuevamente se realizó una prueba de ANOVA de un solo FACTOR (una vez comprobada la distribución normal de los datos y la homogeneidad de las

varianzas), de la cual se obtuvo: $F(3.1) < F(3.50)$ (α) $p\text{-valor} > 0.05$, por lo cual no se rechaza la igualdad entre las medias de los grupos respecto a la variable respuesta COS (Anexo 5B).

En la Figura 35 se observa que no hay diferencias significativas en la cantidad de Mg/ha^{-1} de COS entre los cinco sistemas ($p > 0.05$), y de acuerdo a la comparación de TUKEY $\alpha = 0.05$, no se forman grupos. Sin embargo, sigue sobresaliendo que la mayor acumulación de carbono se presenta en los sistemas donde se intercalan árboles frutales con milpa, seguido del bosque de pino-encino.

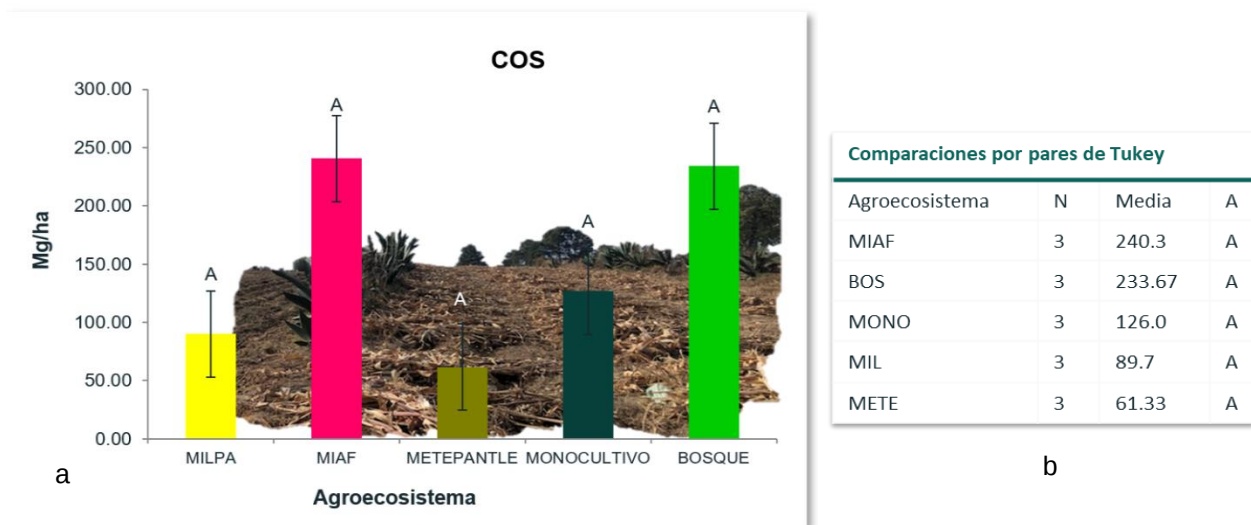


Figura 35. Estimación de COS por sistema (a). La prueba ANOVA predice un $p\text{-valor} = 0.66$ a un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$ por lo que no hay diferencias significativas en la cantidad de COS. De acuerdo a la prueba de TUKEY (b) ($\alpha = 0.05$) las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De igual manera para comparar la estimación de carbono se clasificaron los valores obtenidos de acuerdo a los intervalos propuestos por Vela *et al* (2011), quienes en su investigación compararon el contenido de carbono bajo diferentes usos de suelo en la ciudad de México. Los niveles considerados fueron: Muy alto $> 150 \text{ Mg/ha}^{-1}$, Alto $100\text{-}150 \text{ Mg/ha}^{-1}$, Medio $50\text{-}100 \text{ Mg/ha}^{-1}$ y Bajo $< 50 \text{ Mg/ha}^{-1}$.

De acuerdo a Vela *et al* (2012), no hay una referencia estándar para clasificar la cantidad de carbono, principalmente por la heterogeneidad de los ecosistemas, por lo cual, para fines de este trabajo, y en similitud con lo encontrado en el trabajo de referencia, se jerarquizó y delimitó en función de los valores máximos y mínimos de concentración de carbono resultado de los análisis de suelo de esta investigación.

De acuerdo a la Figura 36 los sitios 4 y 5 correspondiente a MIAF se clasificaron como muy alto en contenido de COS, de acuerdo a Juárez et al (2008) el aporte de materia orgánica proveniente principalmente de la hojarasca, mejora la calidad de los suelos en el Izta-Popo, por lo que dentro de estas posibilidades la estabilidad del carbono orgánico (Arriaga-Vázquez *et al.*, 2019). En contraste con los sistemas milpa, monocultivo, metepantle el MIAF ha obtenido mejores resultados en cuanto a la captura de carbono, la MO, infiltración de agua, la estructura del suelo, controla la erosión, entre otros (Castellanos, 2017; Vázquez-Polo *et al.*, 2011; Juárez *et al.*, 2008). En este mismo nivel están los sitios de bosque, cuyos valores eran esperados por la naturaleza del ecosistema, de manera general los bosques sin aprovechamiento forestal almacenan mayores cantidades de carbono en comparación con otros usos de suelo (Arriaga-Vázquez *et al.*, 2020; Pérez-Ramírez *et al.*, 2013; Juárez *et al.*, 2008).

En la clasificación de nivel alto están el sitio 1 (milpa) y el 11 (monocultivo), los resultados observados en campo sobre el manejo de las parcelas por parte del campesino muestran un conocimiento basado en el uso de prácticas tradicionales en conjunto a una valorización de los servicios ecosistémicos proporcionados por el suelo, de acuerdo a la literatura la labranza convencional puede mejorar la calidad del suelo siempre y cuando congenie con los procesos ecológicos (Pauca, 2015; Apezteguía y Sereno, 2002). En estos sitios la cobertura del suelo es el principal aporte de materia orgánica junto con el manejo de las arvenses, además de la labranza mínima. En el trabajo de Chenu *et al* (2019) se encontraron valores altos no solo en sistemas forestales si no también en monocultivos (144 Mg/ha) debido a la permanencia de la cobertura del suelo y el aporte de abonos orgánicos, esto demuestra que las prácticas agroecológicas restauran propiedades fisicoquímicas del suelo y mejoran las reservas de carbono orgánico.

En el mismo sentido para los valores medios y bajos de COS, se relacionaron con los bajos aportes de MO, particularmente se observó que los suelos son desprovistos de gran parte de su cobertura. Sin embargo, se realizan esfuerzos por aumentar la cantidad de nutrientes para el suelo, la fertilización y el implemento de acolchados orgánicos (mulch) (Juárez *et al.*, 2008).

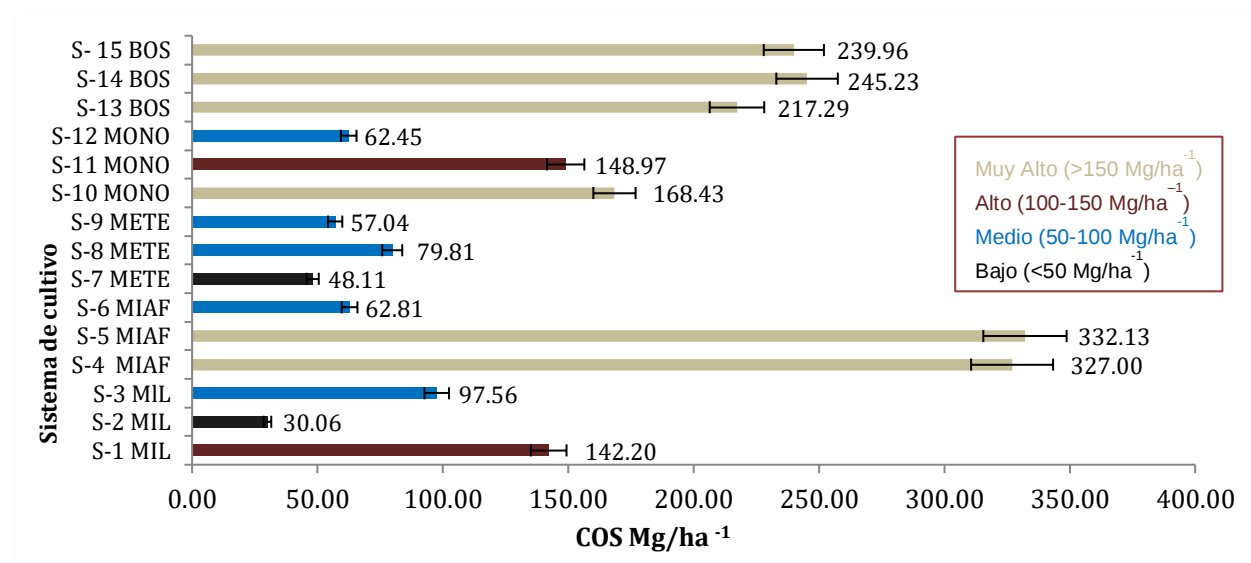


Figura 36. Cantidad de carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas y clasificación (Vela *et al.*, 2012).

Herzfeld *et al* (2021) presentan un modelo para estimar las reservas actuales de COS a nivel mundial y proponen un panorama prospectivo para finales de siglo sobre los resultados que se esperan de acuerdo a los sistemas de cultivos y manejos actuales. Sus resultados indican que la mejor gestión agrícola que permita el aumento de carbono será a través de la cobertura vegetal y la labranza mínima y cero.

En coincidencia con los resultados anteriores los sistemas evaluados en estos trabajos cuentan con los valores más bajos de COS debido al manejo, particularmente en la extracción de residuos del campo y la baja aportación de materia orgánica.

De acuerdo al IPCC (2006) es posible aumentar el COS agregando más carbono al suelo del que se pierde por respiración, y la cosecha. Además, alcanzar un equilibrio requerirá tiempo y mantener estrategias de manejo que no agoten el contenido de carbono orgánico.

En adición a nivel internacional se argumenta que el potencial de secuestro de COS en suelos bajo cultivos se puede lograr mediante la restauración de suelos degradados (Griscom *et al.*, 2017; Lal, 2003), agrosilvicultura, biocarbón, compost de biorresiduos (Mekki *et al.*, 2019), labranza mínima, entre otras prácticas que agregan formas de material orgánico que aumentan los contenidos de COS.

Como parte final de este objetivo se realizaron mapas representativos de la materia orgánica del suelo (Figura 37) y del COS (Figura 38) en los quince sitios de muestreo. En cuanto a la materia orgánica estimada, la interpretación de la NOM-021 para el porcentaje de MO en suelos volcánicos se presenta en bajo a excepción del sitio de bosque pino-encino que es clasificado como medio, los bosques de esta región se encuentran entre 5% y 7% (Juárez *et al.*, 2008).

La distribución y variabilidad de las reservas de carbono, como propiedades del suelo, se encuentran en manos de las condiciones del ambiente, la cobertura del suelo y el uso y manejo del recurso edáfico (Guo *et al.*, 2020). La mayor acumulación de COS se presenta en los sistemas donde se intercalan árboles frutales con milpa. Estos sistemas simultáneos además de sus características inherentes en cuanto al mejoramiento de la calidad del suelo, se han mezclado con los saberes tradicionales de los campesinos generando una sinergia positiva en la acumulación de carbono orgánico.

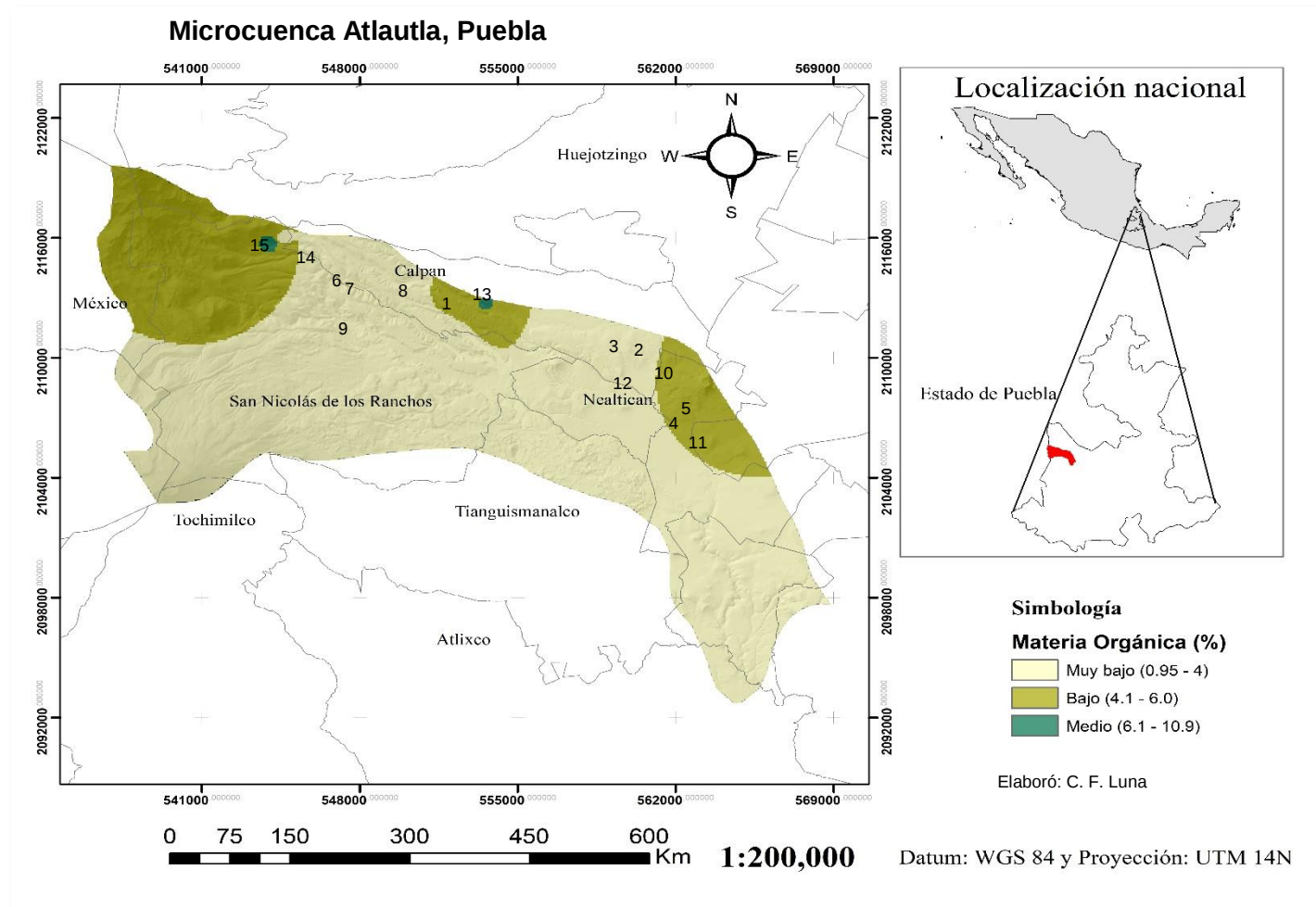


Figura 37. Mapa de materia orgánica en la Microcuenca Atlautla, los valores de MO son de acuerdo a la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los números representan los quince sitios de muestreo.

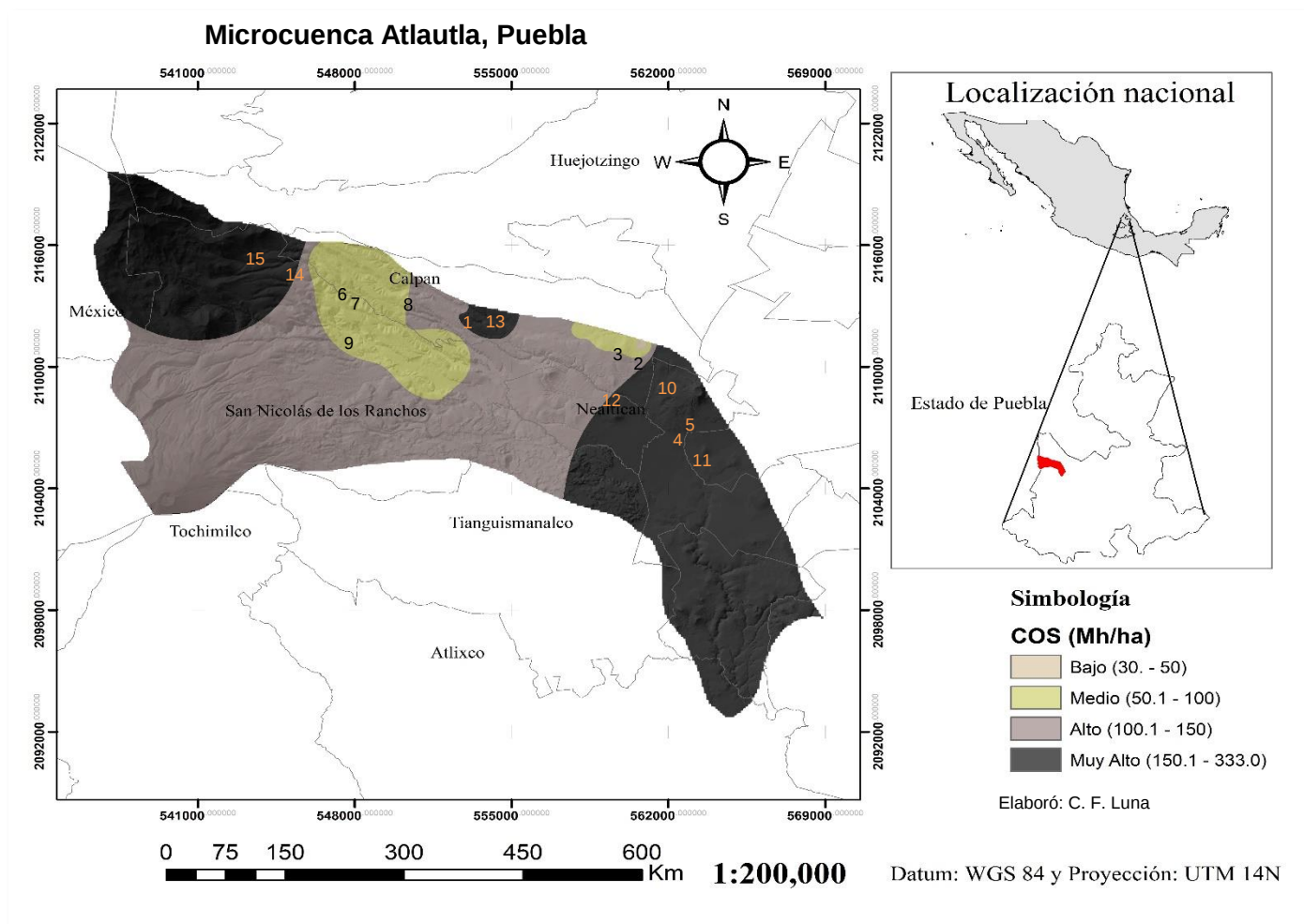


Figura 38. Mapa de carbono orgánico del suelo en la Microcuenca Atlautla, la clasificación de COS es de acuerdo a la propuesta de Vela et al (2011). Los números representan los quince sitios de muestreo.

9.5 Relación de la concentración de COS con el manejo de los sistemas agroecológicos.

En el siguiente apartado se busca plasmar la relación que puede existir entre la dinámica del carbono orgánico del suelo y los conocimientos campesinos, reflejados particularmente en el manejo de sus agroecosistemas, como resultado de la investigación realizada en la microcuenca.

La intención de la discusión de estos resultados es resaltar el funcionamiento de los agroecosistemas a través del factor sociocultural enfocado en la influencia ecológica que pueden expresar en procesos como la dinámica del COS y aunado a la revalorización de los conocimientos campesinos implicados en favorecer las relaciones positivas con la naturaleza y provocar en diálogo de saberes permitiendo el intercambio de conocimientos con el mismo fin de un uso sustentable de este recurso natural.

Como se mencionaba anteriormente la interacción con los campesinos, la observación, las encuestas y entrevistas semiestructuradas, propiciaron la obtención de información valiosa no solo para caracterizar los agroecosistemas estudiados, sino que permiten aproximarnos al análisis de la relación hombre naturaleza, a través de las propiedades físicas y químicas expuestas y permitiendo una evaluación de la relación entre el carbono orgánico y el manejo de los cultivos (Figura 39).



Figura 39. Aplicación de entrevistas semiestructuradas en campo a los campesinos.

A través de la metodología utilizada conforme el modelo de Machado *et al* (2015) y Vergara (2020) se pudo obtener con mayor claridad no solo la caracterización de los agroecosistemas si no información que permitió generar inferencias en la relación del COS y la forma de manejo a través de los conocimientos campesinos que se aplican en la zona de estudio. Para esto se utilizaron gráficos radiales porque nos permiten observar el comportamiento de las variables y

generar asociaciones y marcar tendencias, por lo que el resultado fue la visualización de las dimensiones conforme los indicadores (Anexo 6 A, B y C) y la discusión sobre la relación del carbono orgánico y los resultados obtenidos. Para la categoría de COS se utilizó la clasificación ya mencionada propuesta por Vela *et al* (2012).

Dimensión económica y carbono orgánico del suelo

En cuestión de la dimensión económica en seguridad alimentaria (diversidad de productos y autoconsumo) (Figura 40) las mayores calificaciones en el primer indicador se obtuvo de la milpa del sitio 1, MIAF del sitio 4 y 5, y metepantle del sitio 8, esto lógicamente por la naturaleza del agroecosistema, es de sobra conocido como la diversidad de especies vegetales genera un aumento en la materia orgánica, en el equilibrio del COS y en la generación de productos para venta (Burbano-Orjuela, 2018; Caviglia, 2016; Altieri y Nocholls, 2013; Castellanos, 2017), y las más bajas en los monocultivos.

Los resultados en el porcentaje de autoconsumo ha sido consistente en la región ya que se ha caracterizado por ser notoriamente de subsistencia y excedentes para venta, si bien no influye directo en el suelo, el hecho de comer lo que se cultiva, motivo es para que los productores mencionen su afinidad por tratar bien a la tierra, usar lo menos posible los químicos y mantenerla fértil y esto a su vez resultan precursores de manejos agroecológicos que como uno de sus efectos será el de aumentar y mantener el carbono orgánico del suelo.

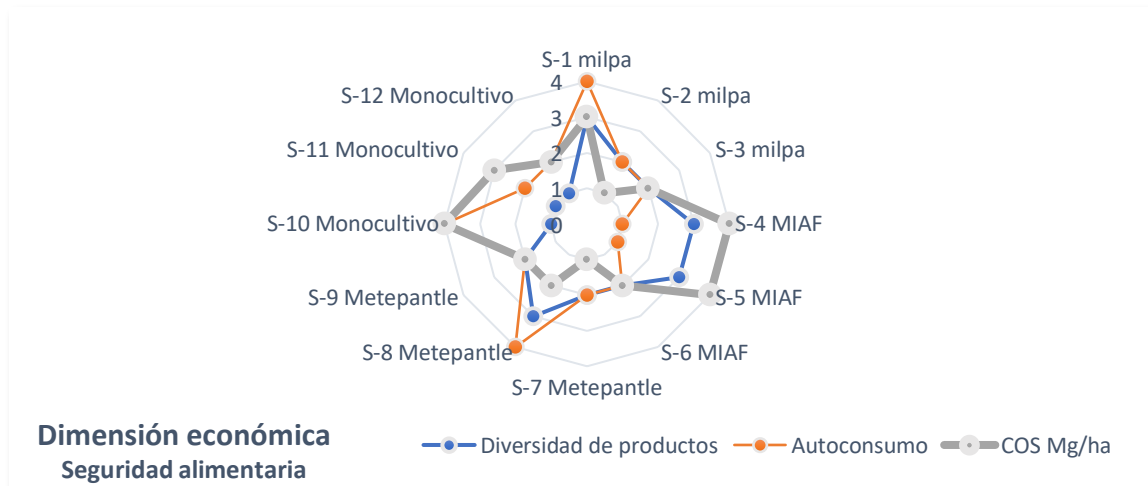


Figura 40. Gráfico radial de la Dimensión económica, atributo seguridad alimentaria e indicadores.

Dimensión sociocultural y carbono orgánico del suelo

La importancia de tomar en cuenta esta dimensión recae en el hecho de que el conocimiento campesino se transmite muchas veces de manera oral y es en gran parte originado por las

vivencias a través de los años por parte de los agricultores. Por lo que esos saberes tienen influencia en la dinámica de los ecosistemas (Valdivieso, 2017). Y es por medio, en primer lugar, por la tradición familiar y también las demás relaciones sociales que son transmitidos los conocimientos.

De acuerdo a los resultados del atributo redes sociales (Figura 41), el apoyo de mano de obra familiar aún es un aspecto que resalta en el manejo de los cultivos para cada temporada, sin embargo, de acuerdo a Osorio-García *et al* (2015) y Amavizca-Ruiz (2014) en los últimos años y en lo observado en algunos sitios (2,3,11, y 12) el apoyo de la familia ha ido limitándose por cuestiones sociales, tales como migración e intereses no compartidos. Si bien no repercute directamente en el suelo, indirectamente la pérdida de conocimientos generacional, si sobre el manejo positivo del campo, que permita un mantenimiento de las reservas de carbono, puesto que la preocupación de los campesinos se haya en el abandono del campo por los jóvenes y en la creciente tecnificación.

En cuanto al indicador organización comunitaria el sitio 4 y 5 correspondientes a sistema MIAF presentan mayor puntaje en la escala debido a la certificación de sus productos, esto les ha permitido generar mayores relaciones sociales, particularmente de exportación y al mismo tiempo mantener conscientemente un manejo que permite la acumulación de materia orgánica y la estabilidad del COS principalmente. Los agroecosistemas restantes se han mantenido al margen de pertenecer a las juntas auxiliares que les corresponden por localidad, sin embargo, reconocen las ventajas de formar mejores redes sociales que les permitan mejorar el uso de insumos y obtener buenas cosechas. Es importante resaltar que en sitios como 1 y 10 se presentaron altos niveles de COS que no dependen del valor del indicador, es decir, los resultados de la cantidad de carbono no dependen de la organización comunitaria, pero tampoco se vuelve excluyente en mejorar las relaciones sociales y por ende un interés mayor en el mejoramiento del manejo del agroecosistema.

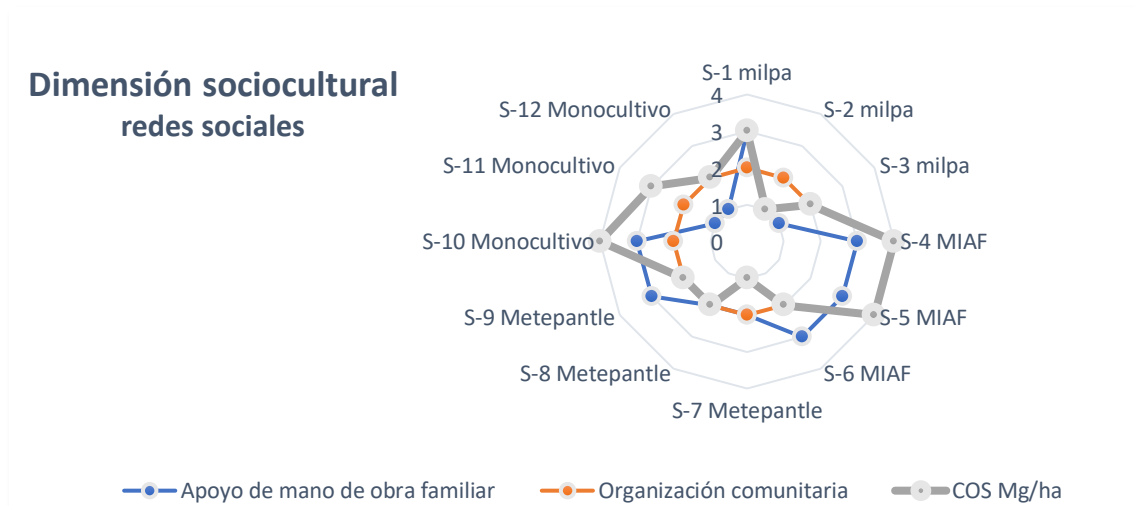


Figura 41. Gráfico radial de la Dimensión sociocultural, atributo redes sociales e indicadores.

Dimensión técnico-productivo y carbono orgánico del suelo

Referente al estado de conservación del suelo y salud del cultivo (Figura 42) los resultados permiten generar asociaciones entre los indicadores y lo observado en campo. En este caso las mayores calificaciones corresponden a los sitios donde se encontró mayor cantidad de carbono orgánico y también donde los indicadores evaluados se acercan a las características de un sistema agroecológico (Apezteguía y Sereno, 2002).

Los mayores valores para cobertura del suelo correspondieron a los agroecosistemas 1, 4, 5 y 10, representados por milpa, dos MIAF y monocultivo respectivamente. Además de la protección contra la erosión la cobertura promueve la acumulación de materia orgánica y por consiguiente la del carbono, de acuerdo a la información de los campesinos en algunos casos (los de valores menores) solo una parte del ciclo de cultivo el suelo permanece bajo cobertura, resultando como efecto la mineralización de la MO y expulsión de CO₂ a la atmosfera, sería indispensable la adopción de un manejo de cobertura de suelo y de acuerdo a Crystal-Ornelas *et al* (2021) con base en su modelo se requiere mínimo un plazo de 5 años o más para observar un resultado significativo en la concentración de COS en los primeros cm del suelo.

Por la estricta relación MOS-COS los valores más altos en MO superficial observado también corresponde con los de mayor carbono orgánico estimado. Las practicas asociadas a las mayores calificaciones fueron la utilización de abonos orgánicos, la labranza mínima y la cobertura vegetal. Los sitios más bajos en MO fueron en el metepantle debido a que los suelos son limpiados antes de comenzar la temporada además los restos de la cosecha son utilizados como forraje para el ganado. Se plantea la necesidad de valorar entre los agricultores como los rastrojos e incluso las raíces (arvenses, árboles) ingresan al depósito de materia orgánica, además la adición constante eleva la tasa de renovación del suelo (Herzfeld *et al.*, 2021). En adición, una labranza mínima que proteja los minerales arcillosos y genere macro agregados resultará en la estabilización positiva del COS.

Para el uso de insumos orgánicos, según lo observado es decisión de cada campesino conforme a su experiencia y asesorías que han recibido, que llevan a cabo esta actividad, como se ha mencionado el uso de abonos dependerá principalmente de la disponibilidad económica para comprarlo, sin embargo, se puede constatar que un buen manejo del suelo como es el caso de don Telesforo (sitio 1 y 10) que si bien no tiene la posibilidad de abonar en cantidad, ha trabajado su tierra por más de 40 años mediante labranza mínima, cobertura vegetal, asociación de especies y con uso mínimo de químicos por lo que a través del tiempo se ha generado un equilibrio, lo cual permitirá que las necesidades también disminuyan y sean alcanzables (Herzfeld *et al.*, 2021).

Esta investigación asocia lo observado en campo y los indicadores propuestos, sin embargo, entender la complejidad de la dinámica del carbono y sobre todo influir de manera positiva requiere de considerar la relación de los sistemas radicales en el suelo, la relación C:N, impactos de microorganismos y de la fauna en general, entre otras (Herzfeld *et al.*, 2021).

De acuerdo a FAO (2013), un buen manejo del suelo asegurará su óptima nutrición y protección para esto la mejor manera de alimentar y proteger el suelo es aplicar constantemente materia orgánica o compost y mantenerlo cubierto. Cuando se añade fertilizantes al suelo sin la adición de componentes carbonatos orgánicos, frecuentemente la tierra se deteriora.

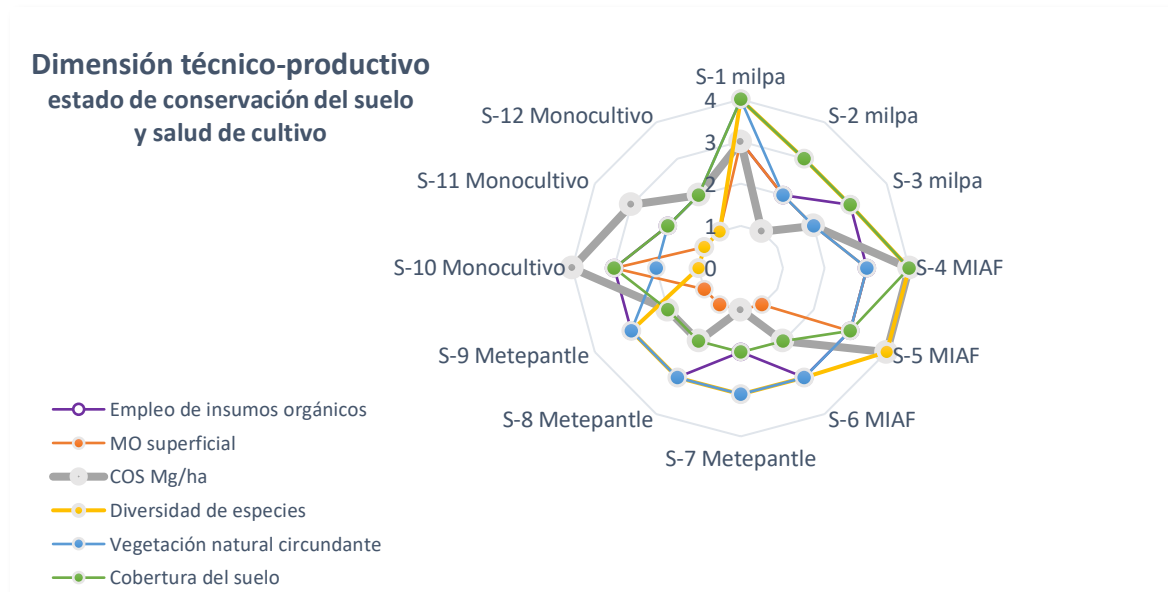


Figura 42. Gráfico radial de la Dimensión técnico-productivo, atributo estado de conservación del suelo y salud de cultivo e indicadores.

El gráfico siguiente (Figura 43) representa el atributo prácticas de manejo sociocultural junto con sus indicadores. Estos se relacionan con los anteriores y se observa que de igual forma los valores más altos resultan asociados a la mayor cantidad de carbono orgánico, los indicadores evaluados son parecidos y están ligados a las dimensiones y atributos pasados, sin embargo, es importante recalcar que una vez más un manejo agroecológico en combinación con los saberes campesinos generan una sinergia positiva en evitar aceleradas pérdidas de COS.

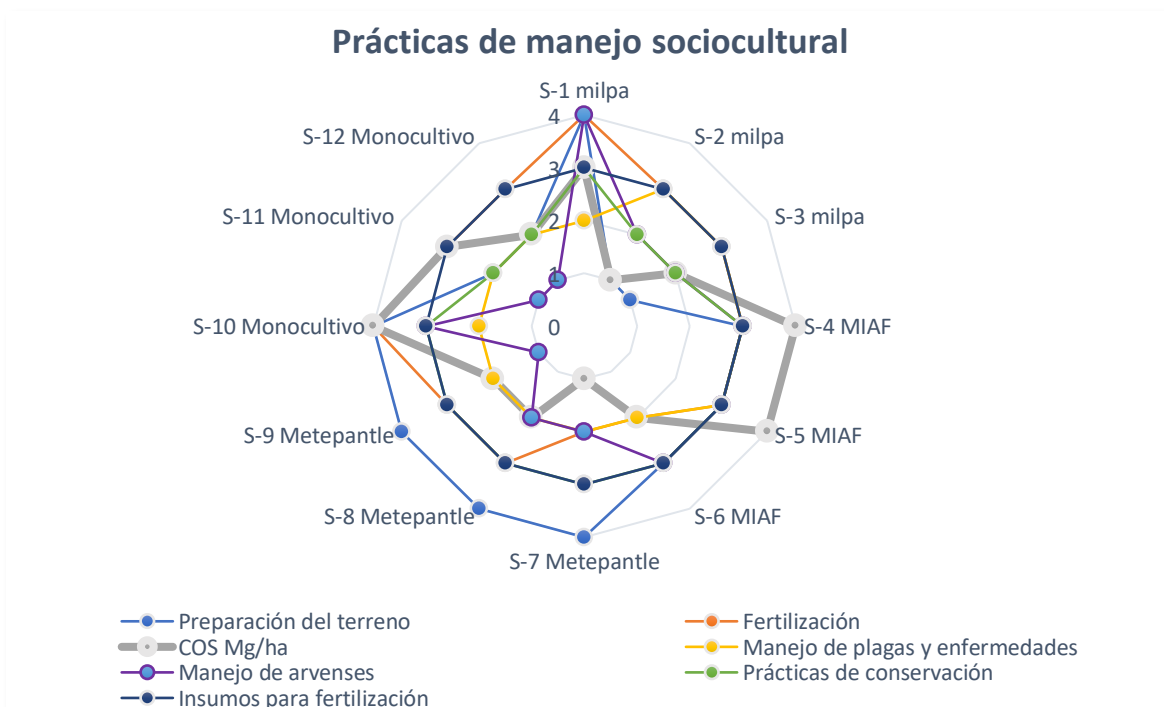


Figura 43. Gráfico radial de la Dimensión técnico-productivo, prácticas de manejo sociocultural e indicadores.

En la zona los productores han tomado conciencia del daño al suelo y a la salud humana que provocan el desmedido uso de fertilizantes químicos, por lo que para este indicador todos los agroecosistemas evaluados utilizan lo menos posible estos productos, generando experiencias y retomando prácticas de manejo tradicionales como el abonado orgánico. Se muestra de igual forma que la fertilización, la preparación del terreno y el manejo de arvenses, plagas y enfermedades tienen como resultado una mayor acumulación de COS (sitio 1, 4, 5, 10 y 11).

A pesar de que en los sitios 6, 7, 8, 9 la preparación del terreno y la utilización de insumos para fertilizar tienen calificaciones altas, el carbono orgánico no la tiene, esto se debe a que es necesaria una combinación de varias prácticas agroecológicas y de conservación para poder generar resultados significativos (Bolívar, 2021; Burbano-Orjuela, 2018; Caviglia, 2016; Altieri y Nicholls, 2013; Cotler y Etchevers, 2016; Quin *et al.*, 2013; Altieri y Nicholls, 2012; Altieri y Nicholls, 2008; Schmidt, 2006).

Se conoce que los fertilizantes sintéticos son absorbidos por las plantas de inmediato después de su aplicación no así los nutrientes proporcionados del estiércol, por ejemplo, debido a la mineralización y transformación que debe sufrir (Hui *et al.*, 2017), sin embargo, la disponibilidad de nutrientes se mantiene por más tiempo y asimilable en el suelo. Por lo que la mejor opción sería la utilización combinada de fertilizantes químicos y orgánicos que podrían mejorar la reserva de carbono en el suelo y el rendimiento de los cultivos.

Para el indicador de manejo de plagas y enfermedades se puede observar que la mayoría de los agroecosistemas obtuvo la misma valoración, solo los sitios 2, 3, 4 y 5 tiene mayor puntaje debido a que las personas mencionan utilizar herbicidas y plaguicidas durante la temporada de cultivo debido principalmente a obtener un rendimiento mayor. En cuanto a los demás mencionan no tener problemas graves de plagas o enfermedades, tan solo usan medidas como el encalamiento o el deshierbe, también es importante que, para evitar enfermedades en sus semillas, después de la cosecha las almacenan en lugares frescos y secos libres de humedad y protegidas de la lluvia (Paucar, 2015).

Es importante mencionar que algunos de los productores son conscientes del efecto negativo de los fertilizantes, por lo que en los últimos años han intentado abonar mediante una combinación de ambos, por lo que se encuentra un área de oportunidad para aportar mediante el diálogo el conocimiento sobre los beneficios de un buen manejo a través de la fertilización y las enmiendas, que conlleven a incrementar la retención de agua en suelo, mejoren la porosidad, la estructura, el incremento de carbono a través de los sistemas radicales y en la estabilización del COS (Amores, 2020).

Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM)

Se realizó el ACM basado en los sitios de muestreo (12 Agroecosistemas) y las categorías asociadas al carbono orgánico del suelo, se analizaron las dimensiones socioculturales y

calidad del suelo, de los resultados obtenidos de los indicadores del suelo y la información proveniente de las entrevistas semiestructuradas (anexo 7).

En el caso de las prácticas socioculturales, las primeras tres dimensiones (Dim) del ACM explicaron el 65.5% de la variabilidad total de los datos. Las Figuras 44-46 expresan los resultados más importantes del análisis. Cada variable cualitativa generó una carga determinada que contribuyó a la construcción de los dos ejes principales (dimensiones) y se representaron mediante las similitudes, diferencias y asociaciones entre las categorías e individuos (Rojas *et al.*, 2021).

De acuerdo al cálculo de los ejes principales, de la inercia total, el primer componente representa el 25% de la inercia y el segundo el 23.17% formando las dos dimensiones, con una representación de 48.22%, por lo que las interpretaciones se deben tomar con cautela y tomar consideraciones para el mejoramiento de la representación de la variabilidad, mediante el aumento de datos y del establecimiento de la correlación entre variables y categorías, sin embargo es posible observar y analizar las asociaciones generadas y la relación particular entre el COS y el manejo de los agroecosistemas.

La primera gráfica (Figura 44) se representan las variables y su correlación con las dos dimensiones. La Dim 1 se construyó en base a las variables manejo de plagas y enfermedades, carbono orgánico del suelo y manejo de arvenses., y la Dim 2 por preparación del terreno, prácticas de conservación y fertilización, es decir, la información obtenida de los campesinos formó grupos o separaron los agroecosistemas según estos parámetros en estas dimensiones.

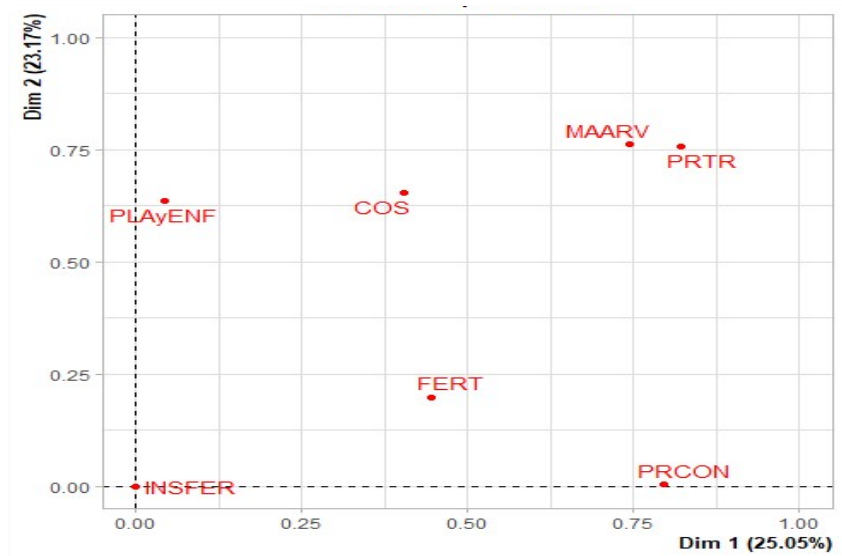


Figura 44. Distribución de variables cualitativas en la dimensión (Dim) 1 y 2 del análisis de correspondencia múltiple (PRTR= preparación del terreno, MAARV= manejo de arvenses, PRCON= prácticas de conservación, FERT= fertilización, COS= carbono orgánico del suelo, PLAYENF= manejo de plagas y enfermedades, INSFER= insumos para la fertilización). (DIMENSION SOCIOCULTURAL).

Para la gráfica siguiente (Figura 45) se observa la relación y asociación entre las categorías de las variables. En este caso las categorías con perfiles similares se han agrupado., y las posicionadas en lados opuestos al origen se relacionan negativamente. Se puede observar que se han formado asociaciones de acuerdo a perfiles similares entre las practicas socioculturales de los campesinos y la cantidad de carbono orgánico, por ejemplo, para el caso de COSMA (carbono muy alto) se asocia con preparación del terreno buena (PRTRB), manejo de arvenses buena (MAARVB).

También las practicas con bajos valores en los indicadores se han agrupado de manera opuesta al centro del origen resultando ser completamente opuestas entre ellas como sería lógico, es decir si los campesinos realizan una buena preparación de su terreno, estarán asociando otras buenas prácticas de conservación y viceversa. La preparación del terreno y el manejo de arvenses clasificados como muy bueno están relacionados y muy bien representados en el mapa (por su distancia del origen) y de la misma manera estas mismas categorías, pero clasificadas como malas. En el cuadrante derecho abajo en la dimensión 1 podemos mencionar que aquellos agroecosistemas caracterizados por manejo de arvenses malo (MAARVM), manejo de plagas y enfermedades mediante químicos (PLAYENFB) y con fertilización medianamente buena (FERTB) se asocian a al resultado de carbono orgánico bajo (COSB).

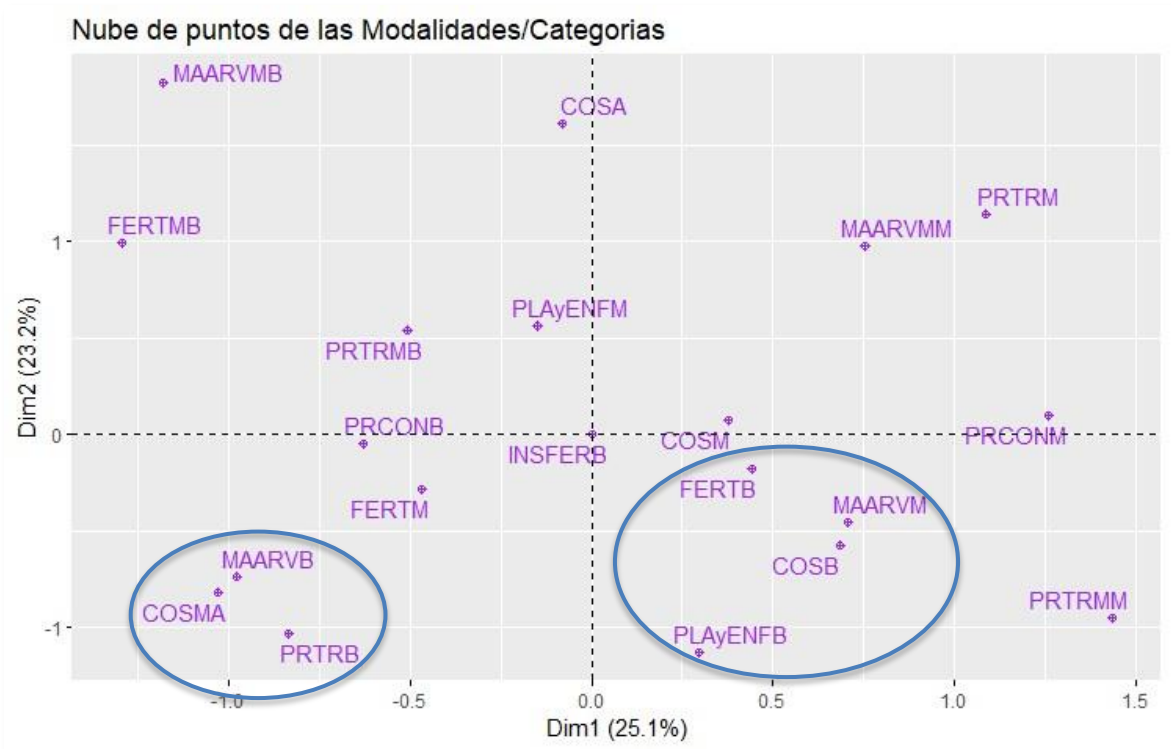


Figura 45. Distribución de las categorías de las variables (PRTR= preparación del terreno, MAARV= manejo de arvenses, PRCON= prácticas de conservación, FERT= fertilización, COS= carbono orgánico del suelo, PLAYENF= manejo de plagas y enfermedades, INSFER= insumos para la fertilización). (DIMENSION SOCIOCULTURAL).

Tal como se observa en la Figura 46 el análisis permitió visibilizar el comportamiento de los agroecosistemas en relación a las variables y sus categorías. Se puede observar cómo los diferentes sistemas se asociaron a las categorías evaluadas, en los círculos azules se representan los agroecosistemas, por ejemplo para el sitio 2 y 3 (Milpa) se relacionaron con malos manejos de arvenses (MAARVM), y esto concuerda con lo observado en campo particularmente en la casi nula cobertura del suelo, de igual forma se asoció a la muy mala preparación del terreno (PRTRMM), que como resultado del indicador son sistemas que usan maquinaria pesada para la preparación del terreno. Por consiguiente, se han relacionado con una baja cantidad de carbono orgánico estimado. Hay un comportamiento similar en los sitios 11 y 12 correspondientes a monocultivo.

En el caso del sistema de milpa intercalado con frutales se observa una fuerte asociación con fertilización mala (aplicación rutinaria con productos y dosis acostumbradas, independiente del cultivo y análisis del suelo), preparación del terreno buena (PRTRB) y manejo de arvenses bueno (MAARVB), en conjunto relacionadas con cantidades de carbono orgánico clasificado como muy alto (COSMA). Como se ha mencionado antes las ventajas ecológicas del MIAF aunadas a estrategias agroecológicas llevadas a cabo por los campesinos que participaron ha dado como resultado valores altos de carbono orgánico.

Para el caso del sitio 1 (milpa) y 10 (monocultivo) parecen estar relacionados y asociados a categorías similares independientemente del tipo de sistema, como se ha mencionado antes el manejo por parte de los campesinos tiene gran influencia en las respuestas positivas o negativas en el suelo y los cultivos, en este caso estos sistemas tienen diferencias en sus composiciones físicas y biológicas, sin embargo, han sido tratados mediante el mismo manejo, lo que podría explicar los resultados altos de COS y la diferencias en las asociaciones de las categorías respecto a sus similares también evaluados.

De igual forma podemos observar la completa oposición entre el monocultivo y el MIAF, esto se explica por las asociaciones que mantienen cada uno que resultan contrarias, además de que difieren en cuanto a la diversidad de especies cultivadas principalmente por la naturaleza de cada sistema y formas de preparar el terreno.

La formación de grupos de acuerdo a los agroecosistemas también podría estar indicando la forma similar de manejo utilizada para cada sistema correspondiente, es decir, los campesinos, comparten conocimientos similares en la forma de trabajar sus cultivos. El grupo formado para el sistema metepantle (sitios 7, 8 y 9) parecen no tener asociaciones importantes o fuertes con las categorías cercanas, a diferencia de los demás agroecosistemas. Por lo que solo se observa su agrupación de acuerdo a su semejanza de acuerdo a los datos obtenidos de campo y por parte de los campesinos.

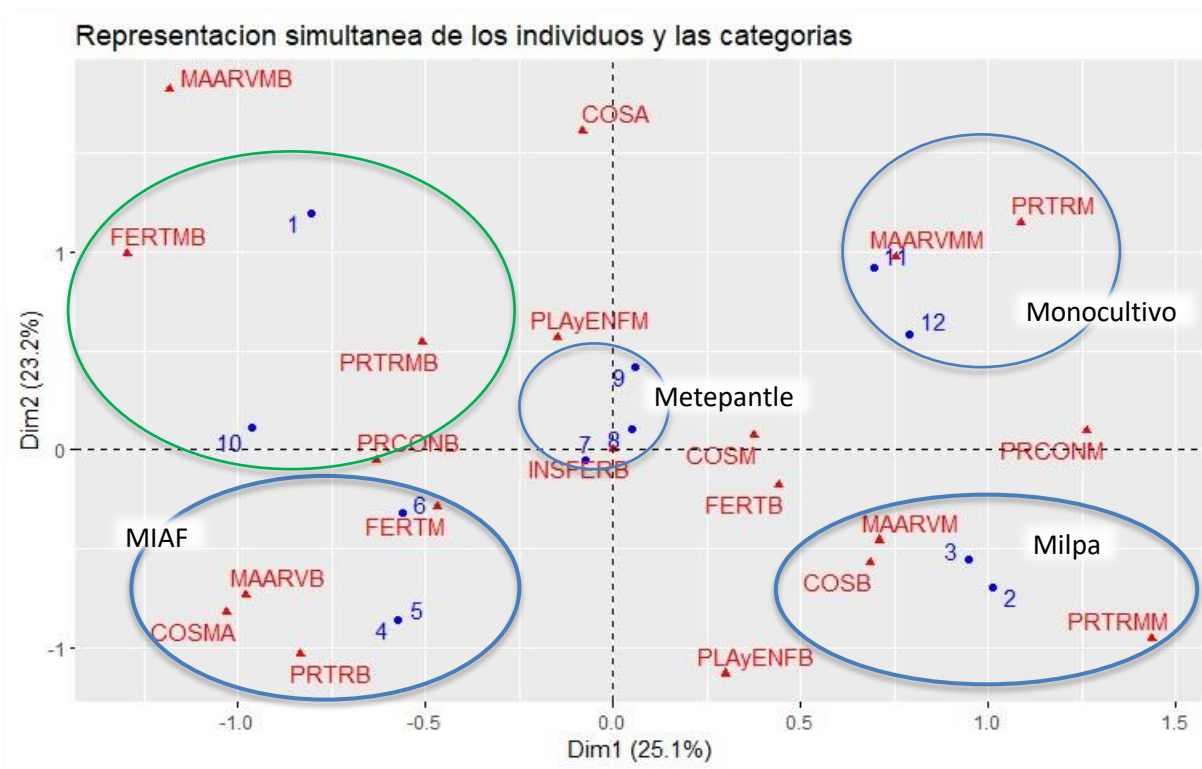


Figura 46. Representación de individuos y categorías. Los puntos representan los agroecosistemas (1-12) y los triángulos las categorías de las variables (PRTR= preparación del terreno, MAARV= manejo de arvenses, PRCON= prácticas de conservación, FERT= fertilización, COS= carbono orgánico del suelo, PLAYENF= manejo de plagas y enfermedades, INSFER= insumos para la fertilización). (DIMENSION SOCIOCULTURAL).

Para el caso de la dimensión estado de conservación del suelo, las primeras dos dimensiones (Dim) del ACM explicaron el 52.41% de la variabilidad total de los datos. Las Figuras 47-49 expresan los resultados más importantes del análisis. De acuerdo al cálculo de los ejes principales, de la inercia total, el primer componente representa el 32.7% de la inercia y el segundo el 19.7%.

La Figura 47 se representan las variables y su correlación con las dos dimensiones. La Dim 1 se construyó en base a las variables diversidad de especies, y materia orgánica., y la Dim 2 por vegetación circundante, y cobertura del suelo, es decir, la información obtenida de los campesinos formó grupos o separaron los agroecosistemas en cuanto a calidad de suelo según estos parámetros en estas dimensiones. De manera general se obtuvo una buena representación de las dimensiones mediante las variables y sus categorías.

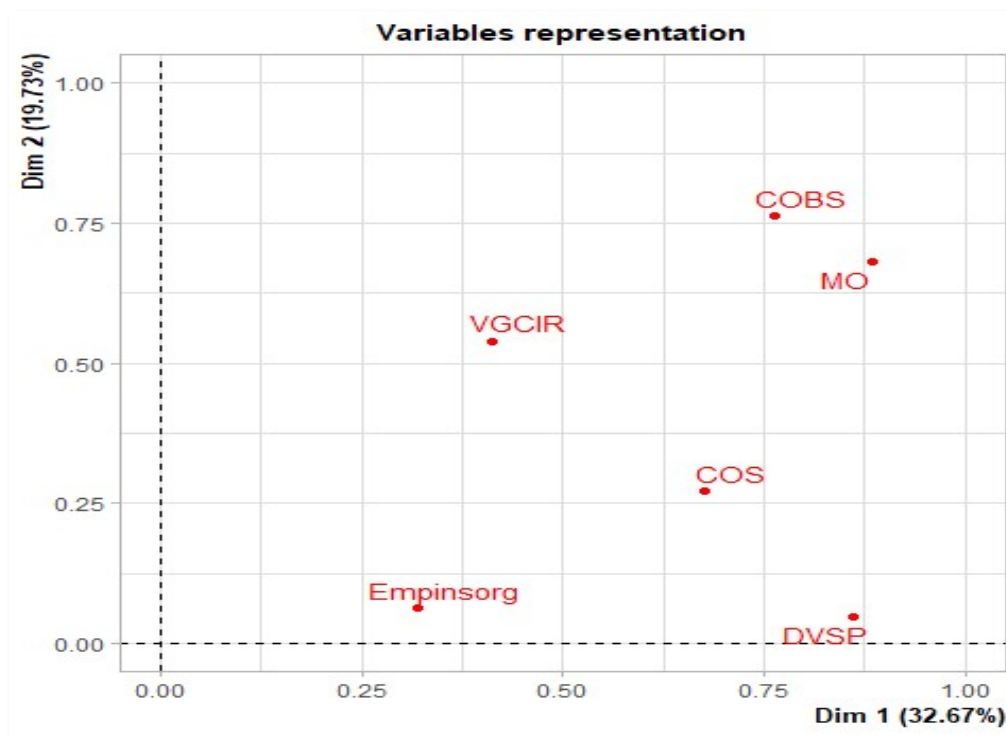


Figura 47. Distribución de variables cualitativas en la dimensión (Dim) 1 y 2 del análisis de correspondencia múltiple (COBS= cobertura del suelo, MO= materia orgánica, DVSP= diversidad de especies, COS= carbono orgánico del suelo, VGCIR= vegetación circundante, EMPINSORG= empleo de insumos orgánicos). (DIMENSION ESTADO DE CONSERVACIÓN DE SUELO).

Para la gráfica siguiente (Figura 48) al igual que en la dimensión sociocultural las categorías con perfiles similares se han agrupado. Se puede observar que se han formado asociaciones de acuerdo a perfiles similares entre el estado de conservación del suelo de los agroecosistemas y la cantidad de carbono orgánico, por ejemplo, para el caso de COSMA (carbono muy alto) se asocia con materia orgánica buena (MOB), diversidad de especies muy buena (DVSPMB), y estas a su vez con la cobertura de suelo muy buena (COBSMB) y vegetación circundante (VGCIRMB), que de acuerdo a la literatura son variables con efectos físicos y químicos benéficos para el suelo y el COS. Es por eso que en el mapa observamos una separación notoria respecto a las demás categorías y al carbono orgánico.

Respecto a las restantes clasificaciones de carbono se formaron grupos asociados a respuestas esperadas por las características de las variables que influyen en la calidad del suelo, por ejemplo, de acuerdo al gráfico el carbono clasificado como medio y bajo se relacionaron con valores negativos encontrados mediante la información de campo y laboratorio.

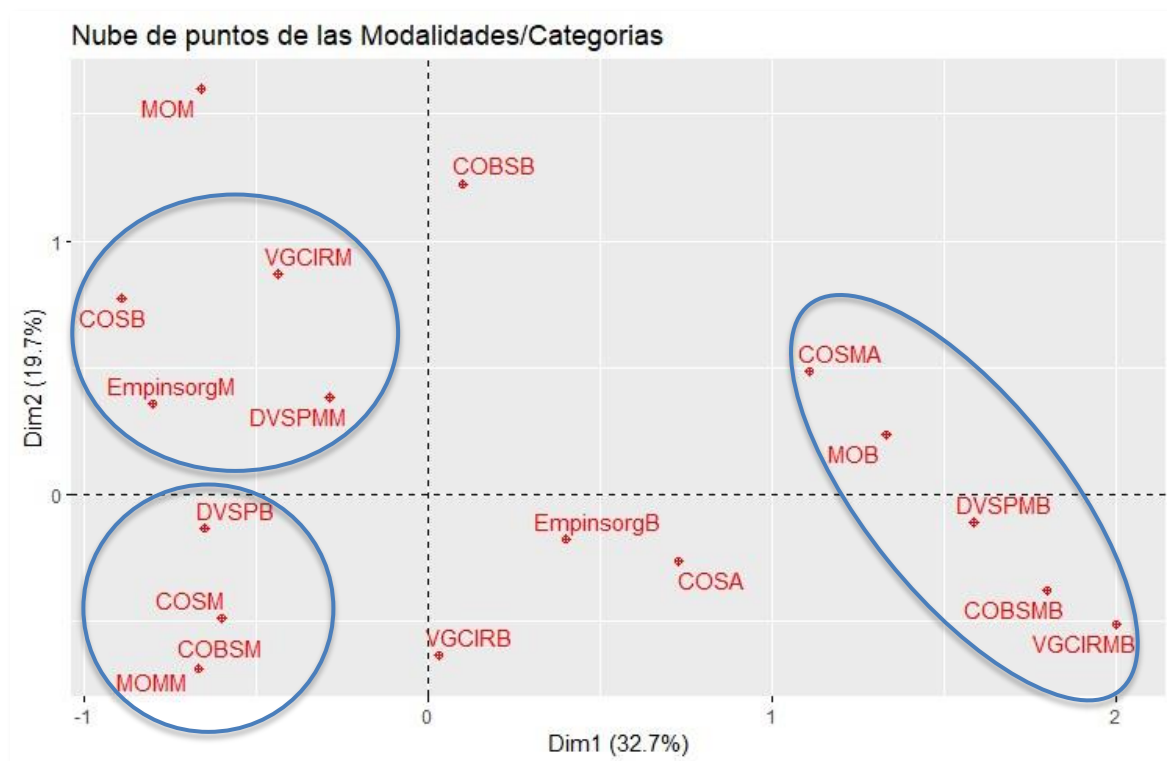


Figura 48. Distribución de las categorías de las variables (COBS= cobertura del suelo, MO= materia orgánica, DVSP= diversidad de especies, COS= carbono orgánico del suelo, VGCIR= vegetación circundante, EMPINSORG= empleo de insumos orgánicos). (DIMENSION CALIDAD DE SUELO).

De acuerdo a la Figura 49 podemos describir las relaciones formadas entre los individuos y las variables establecidas para el estado de conservación del suelo y su relación con el carbono orgánico. A diferencia del gráfico de prácticas socioculturales donde se agrupaban los agroecosistemas de acuerdo a su tipo, en este caso se han distribuido en relación a las propiedades del suelo tomadas en cuenta en esta investigación.

Por ejemplo, destaca la relación entre los sitios 1, 4 y 5 con alto y muy alto COS, que corresponden a sistemas de milpa y MIAF respectivamente, como características en común estos suelos mantienen buenos niveles de materia orgánica (MOB), buena presencia de vegetación circundante (VGCIRMB), por la naturaleza del agroecosistema mantienen diversidad de especies de cultivo (DVSPMB) y sobre todo la presencia de cobertura del suelo durante la mayor parte de la temporada (COBSMB), características que se han relacionado con los sistemas agroecológicos (Paucar, 2015; Apezteguía y Sereno, 2002). Es importante mencionar que los campesinos comparten conocimientos similares en la forma de manejo y coinciden en mantener lo más “natural” posible las características del suelo.

El monocultivo representado por el sitio 10 se encuentra separado del resto de los agroecosistemas, sin embargo mantiene cierta distancia de asociación con cobertura de suelo buena (COBSB) y carbono muy alto (COSMA), esto se puede explicar, por el trabajo del suelo a través del campesino, puesto que a pesar de solo cultivar maíz, ha mantenido por más de 40

años un manejo con características agroecológicas, y esto ha sido resultado de la experiencia, el dialogo de saberes, entre similares y científicos, además de un conocimiento profundo de la relación del suelo como ecosistema, como fuente de trabajo, y como parte de su vida, dando como resultado lo ya mencionado antes respecto a los análisis de suelo y carbono orgánico.

El COSM (carbono orgánico medio) se relacionó con sistemas diferentes (monocultivo, metepantle, MIAF) asociados a las variables DVSPB, COBSM y MOMM, la explicación de esta asociación de acuerdo a lo observado en campo, resulta de las características similares del manejo de los campesinos, sin embargo, también son sistemas que han sufrido un desgaste que podría estar mermando las propiedades físicas y químicas del suelo. Por lo que representan un área de oportunidad para establecer diálogos y generar conocimiento que ayude al mejoramiento del manejo de estos sistemas a través de propiciar los procesos ecológicos que mejoren las condiciones del suelo y por consiguiente el COS, es necesario destacar que los campesinos, se muestran abiertos al diálogo y mantienen la disposición de mejorar sus prácticas de manejo.

Los sistemas milpa del sitio 2 y 3 presentan una asociación con malas prácticas que afectan el suelo y por consiguiente se ven relacionados el COSB (carbono orgánico del suelo bajo), parte de estos resultados concuerdan con el uso de sistemas mecanizados para la preparación del suelo, con la nula cobertura de suelo, puesto que es utilizado como forraje, además que se encuentran ubicados lejos de otro tipo de vegetación. En este caso los campesinos reconocen que pueden mejorar

Respecto al análisis de correspondencia múltiple expuesto tanto para la dimensión sociocultural y calidad nos permite visualizar la relación entre las buenas prácticas de manejo de los campesinos en sus agroecosistemas con los valores más altos de carbono orgánico, sin embargo, el suelo necesita mejorar sus propiedades físicas y químicas para reflejar el aumento de COS, es decir, en esta investigación los agroecosistemas que han resultado de resultados favorables en calidad de suelo deben mantener buenas prácticas y los restantes mejorarlas.

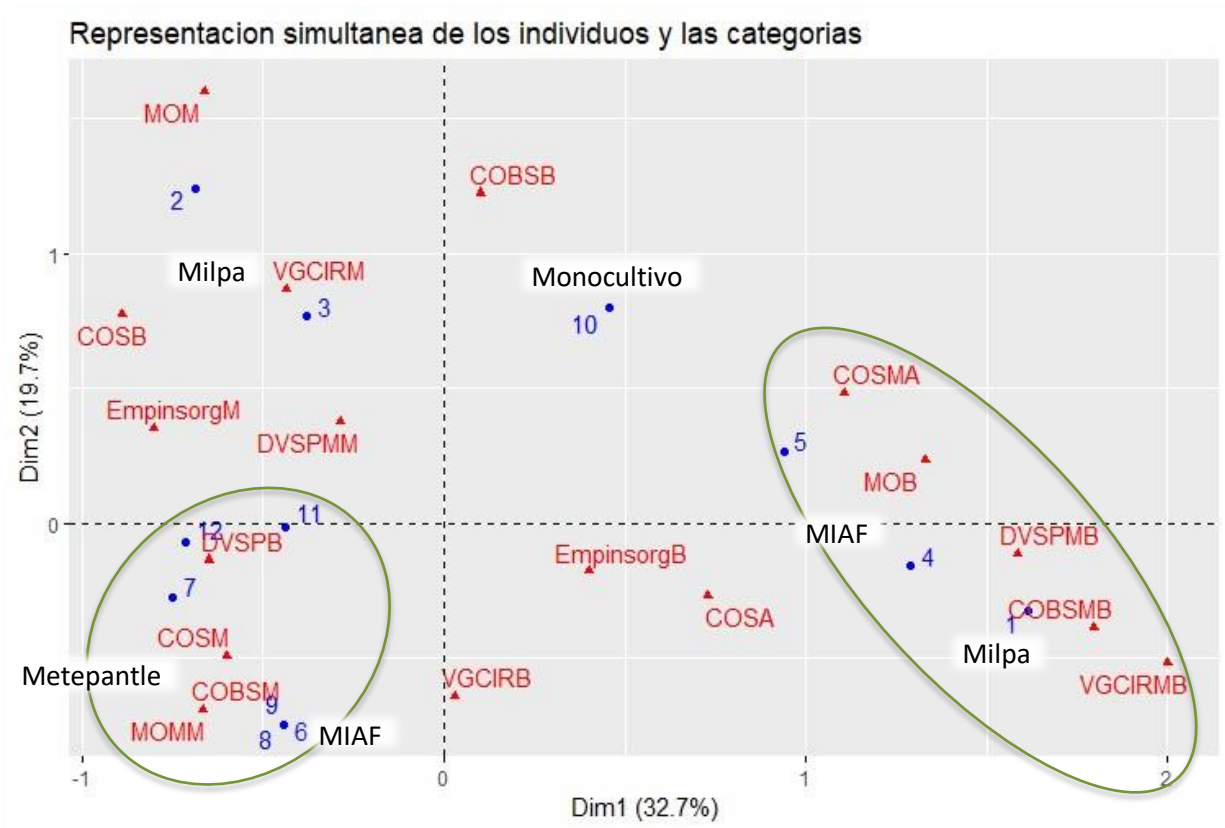


Figura 49. Representación de individuos y categorías. Los puntos representan los agroecosistemas (1-12) y los triángulos las categorías de las variables (COBS= cobertura del suelo, MO= materia orgánica, DVSP= diversidad de especies, COS= carbono orgánico del suelo, VGCIR= vegetación circundante, EMPINSORG= empleo de insumos orgánicos). (DIMENSION ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL SUELO).

X. CONCLUSIONES

10.1 Evaluación de la recarbonización del suelo en los agroecosistemas de la microcuenca Atlautla

Las investigaciones actuales sobre las reservas de carbono apuntan a las causas y soluciones para revertir la degradación y mantener la fertilidad del suelo. De acuerdo a la FAO la recarbonización es posible mediante prácticas sustentables.

En concordancia con la hipótesis establecida y los objetivos alcanzados en el presente estudio, queda demostrado que el conocimiento campesino en el manejo de los agroecosistemas de la microcuenca Atlautla contribuyen a la dinámica del carbono orgánico del suelo.

Es importante considerar la dinámica del carbono orgánico en el ecosistema y su participación en ciclo del carbono, puesto que este estudio solo muestra los resultados obtenidos durante su

desarrollo, será necesario continuar estudiando e investigando la relación entre el COS y el manejo de los agroecosistemas a través del tiempo.

Con estos argumentos y con el resultado de los objetivos desarrollados la evaluación de la recarbonización en la microcuenca Atlautla se puede considerar positiva y con potencial para considerarse una opción sustentable de recarbonización mediante la sinergia entre el conocimiento campesino y el dialogo de saberes.

Los agroecosistemas pueden funcionar como depósitos carbono (COS) si cumplen con el manejo que lo propicien. La cantidad de carbono orgánico en el suelo como parte de procesos biológicos, físicos y químicos se asocia con las practicas agroecológicas por ser sistemas en continuo cambio debido a su interés antrópico.

Gracias a los informantes clave, fue posible evaluar el estado de las reservas de COS, además encontrar las relaciones y asociaciones entre el manejo de los agroecosistemas, a través del conocimiento de los campesinos, y los resultados obtenidos en la estimación del carbono orgánico del suelo.

Esta investigación se ampara en las conclusiones que a continuación se presentan:

- La observación *in situ*, la encuesta y las entrevistas semiestructuradas permitieron describir los agroecosistemas considerados en esta investigación, de acuerdo a su manejo, las relaciones sociales y familiares:

El sistema milpa ostenta la mayor presencia en la microcuenca manteniéndose como una tradición familiar de subsistencia principalmente y en algunos casos para la venta. Las afectaciones mayormente detectadas por los propios campesinos se deben a los cambios en el régimen climático, sin embargo, utilizan su experiencia para solventar estos inconvenientes.

El sistema MIAF se presenta como el agroecosistema que ha tomado importancia en la última década, el manejo en este sistema mayormente es a través del conocimiento formado entre los agricultores, y en segundo lugar mediante asistencia técnica profesional. Quienes trabajan este sistema auguran gran potencial en la obtención beneficios económicos sin descuidar el estado “natural” del suelo.

El metepantle es considerado entre los campesinos como un sistema que necesita de gran trabajo, pero a su vez con buenos beneficios si se sabe trabajar, las principales limitantes para su mejor desarrollo es la falta de apoyo del gobierno y la migración aunada al desinterés de los jóvenes.

En cuanto al sistema menos diverso, el monocultivo, se observó en este trabajo, como la aplicación del conocimiento campesino ha obtenido resultados positivos tanto en sus productos como en las propiedades del suelo. El monocultivo expande su presencia en la microcuenca, y con ello sus efectos negativos por las malas prácticas de manejo, por lo que es de suma importancia revalorizar los conocimientos campesinos y encaminarlos

junto con asesoramientos profesionales, y propiciar las interacciones ecosistémicas que se reflejen en la calidad del suelo.

- Será imperativo profundizar en la investigación en la interacción hombre-naturaleza y aprovechar de las bondades de técnicas como las etnográficas que impliquen una mayor construcción del conocimiento y la exposición de la realidad de los campesinos en la zona de estudio. Es importante recalcar que los conocimientos campesinos sean revalorizados por su potencial en el manejo agroecológico.

De acuerdo a la estadística descriptiva se clasificaron los saberes campesinos identificados en la tipología de Núñez (2004). Se reconocieron buenas prácticas agrícolas como el uso de policultivos y, rotación de cultivos, aprovechamiento de abono, coberturas vegetales, la elección de semillas criollas, sin embargo, también se han invadido y cambiado algunos de ellos debido a distintas causas.

- Se determinaron las características físico-químicas de los cinco agroecosistemas: densidad aparente en un rango de 0.51-1.26 g/cm³, con propiedades texturales de suelos arenoso-franco y franco-arenoso. 80% de los suelos están en un rango de ser suelos moderadamente ácidos (NOM-021-SEMARNAT-2000). El promedio de CIC (sin tomar en cuenta el bosque) es de 14 cmol (+) kg⁻¹, y se clasifica como baja. La relación C/N se encuentra entre 4 y 15 en la microcuenca.
- Se estimó el carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas propuestos de la microcuenca Atlautla, obteniendo como media general de 129 Mg/ha.
- En este estudio el valor máximo de COS fue de 332 Mg/ha en el sistema MIAF y un mínimo de 30 Mg/ha en milpa, el aporte de materia orgánica influye en la cantidad de carbono.
- De acuerdo a la NOM-021 el porcentaje de materia orgánica es baja, sin embargo, es mayor al encontrado en otros trabajos (Álvarez *et al.*, 2020; Castelán *et al.*, 2016; Soto-Mora *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2015; García *et al.*, 2014).
- De acuerdo al resultado de ANOVA a un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) existen diferencias significativas entre las medias de los grupos respecto a la variable respuesta COS, entre los 15 sitios. La mayor acumulación se presentó en sitios correspondientes a MIAF y bosque.
- En cuanto a la agrupación por sistemas (Milpa, MIAF, Metepantle, Monocultivo, Bosque), el resultado de ANOVA a un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) demostró que no se observan diferencias significativas en la cantidad de Mg/ha⁻¹ de COS entre los cinco sistemas. Sin embargo. La mayor acumulación de carbono se presenta en los sistemas donde se intercalan árboles frutales, seguido del bosque.

- De acuerdo a la clasificación utilizada de Mg/ha de COS, los sitios 4, 5 y 10 correspondientes a MIAF y monocultivo se clasificaron como muy alto., el sitio 1 (milpa) y el 11 (monocultivo) en nivel alto. Para el valor medio encontramos el sitio 3, 6, 8, 9 y 12, pertenecientes a milpa, MIAF, metepantle y monocultivo respectivamente. Los sitios 7 (metepantle) y 2 (milpa) se clasificaron como bajos.
- De acuerdo a los indicadores utilizados para la relación COS y el conocimiento campesino, el indicador redes sociales señala un interés e importancia de formar asociaciones y diálogos de saberes entre los campesinos y los profesionales para mejorar el manejo agroecológico. Para el indicador estado de conservación del suelo y salud de cultivo, las mayores calificaciones corresponden a los sitios 1, 4, 5 y 10, representados por milpa, dos MIAF y monocultivo respectivamente. En los cuales se encontró mayor cantidad de carbono orgánico y mejores características agroecológicas.
- Respecto al indicador manejo sociocultural y su relación con el COS, la fertilización, la preparación del terreno y el manejo de arvenses, plagas y enfermedades, presentan la mayor acumulación de carbono (sitio 1, 4, 5, 10 y 11). En este estudio al igual que otros se observó la necesidad de combinar practicas agroecológicas con el conocimiento campesino que pueden generar resultados significativos (Bolívar, 2021; Burbano-Orjuela, 2018; Caviglia, 2016; Altieri y Nicholls, 2013; Cotler y Etchevers, 2016; Quin *et al.*, 2013; Altieri y Nicholls, 2012; Altieri y Nicholls, 2008; Schmidt, 2006).
- EL ACM visibilizó el comportamiento de los agroecosistemas en relación a las variables y sus categorías y a su vez con la cantidad estimada de carbono orgánico, de acuerdo a la evaluación del manejo, las malas prácticas se relacionaron con baja cantidad de COS indistintamente del cultivo, por el contrario, el conocimiento campesino combinado con buenas prácticas se asoció con altos niveles de COS independiente del sistema (como se demostró en el sitio 10 [monocultivo] y 1[milpa]).
- Para el estado de conservación del suelo el análisis de correspondencia asoció las propiedades del suelo con los tipos de agroecosistemas. Las relaciones más altas se observaron, principalmente, entre la cobertura del suelo y la materia orgánica. Por lo tanto, los valores más altos de COS también se asociaron a estas características, y al resto de las evaluadas.

XI. LITERATURA CITADA

- Acosta-Mireles, M., Etchevers, J. D., Monreal, C., Quednow, K, y Hidalgo, C. (2001). Un método para la medición del carbono en compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. En Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 15 p.
- Acosta, Y., Prieto, A., Rosales, Y. (2019). Dinámica de carbono y nitrógeno en suelos tratados con residuos orgánicos. Revista electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, 1 (1). 12 p.
- Aguilar, A., Etchevers, J. D. y Castellanos. J. Z. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. Volumen 1. México; 217 p.
- Aguilar, J. S. I. (2022). Variación de las reservas de carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal del Iztaccihuatl. Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Albino, G. R. (2014). El sistema Agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF): productividad y optimización económica del maíz y frijol. [Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados].
- Altieri, M. A. (2002). Agroecology: the Science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 93:1-24.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7-28.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2012). Agroecología: una esperanza para la soberanía alimentaria y la socioecológica. *Agroecología* 7 (2): 65-83.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia la cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8 (1): 7-20.
- Altieri, M. A. y Toledo, V. M. (2010). La revolución agroecológica de América Latina. Rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. *El Otro Derecho* (no. 42). 40 p.
- Álvarez, H., Galán, R. M., Gómez, P. R. (2022). Calidad del suelo del maíz (*Zea mays* L.) en San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla. En: Factores de la producción agrícola asociación mexicana de investigación interdisciplinaria A.C. 33-47 pp.
- Amavizca-Ruiz, J., R., J., Regalado-López, J., Álvarez-Gaxiola, F., Méndez-Espinoza F., Mendoza-Robles, R., Galvanovskis-Kasparane, A., Díaz-Puente, J. (2014). La migración

- de la población adolescente de San Mate Ozolco, Puebla. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*. 11: 181-199.
- Amores, M. M. (2020). Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: revisión Literatura. Escuela agrícola panamericana, Honduras.
- Apezteguía, H. y Sereno, R. (2002). Influencia de los sistemas de labranza sobre la cantidad y calidad del carbono orgánico del suelo. *Agricultura Técnica (Chile)*, 62 (3), 418-426 pp.
- Argueta, A; Corona, E y Hersch, P. (2011): Saberes colectivos y diálogo de saberes en México. México: Ibero Puebla.
- Arriaga-Vázquez, A. M., Martínez-Menez, M. R., Rubiños-Panta, J. E., Fernández-Reynoso, D. S., Delgadillo-Martínez, J. y Vázquez-Alarcón, A. (2020). Propiedades químicas y biológicas de los suelos en milpa intercalada con árboles frutales. *Terra Latinoamericana* 38: 465-474 pp.
- Arrouays, D., Nicolas P.A. Saby, Hakima Boukir, Claudy Jolivet, Céline Ratié, (2018). Soil sampling and preparation for monitoring soil carbon. *International Agrophysics, Sciendy/De Gruyter*, 32 (32).633-643.
- Ayala, A. O. y Almanza, L. V. (2021). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos agrícolas de la zona intersalar potosino en diferentes tipos de uso. *Revista de investigación e innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. La Paz, 8 (2): 7-19.
- Ayala-Enriquez, M. I., Román-Montes, E. y García-Lara, F. (2019). Caracterización del sistema milpa en Santa Catarina, Tepoztlán, Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 5 (5): 11-23.
- Baldock, J. A. (2007). Composition and cycling of organic in soil. In: *Nutrient cycling in Terrestrial Ecosystems*. Springer 1-35 p.
- Becerra, G. (2019). La teoría de los sistemas complejos y la teoría de los sistemas sociales en las controversias de la complejidad. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, vol.27, 2020, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35 (1): 82-96.
- Bolívar, A., Camacho, C., Ordoñez, N., Gutiérrez, J., Álvarez, G., Guevara, M., Olivera, C., Olmedo, G.F., Bunning, S., Vargas, R. (2021). Estimación de carbono orgánico del suelo en Colombia, una herramienta de gestión del territorio. *Ecosistemas* 30(1). 11 p.
- Cabero, A. J. y Llorente, C. Ma. (2013). Aplicación del Juicio de Experto como Técnica de Evaluación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). *Revista de Tecnología de Información y Comunicación en Educación*. vol. 7, núm 2.p. 11-22.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad,

- Instituto de Biología de la UNAM y Agrupación Sierra Madre S.C. México, D. F. Chávez-Vergara, B., A
- Camejo-Ruiz. (2018). Saberes campesinos para el desarrollo agroecológico sostenible desde la cosmovisión de los actores sociales. *Revista AGROLLANÍA*, Vol. 16 (2): 1-7.
- Cañas, R., A. Ortiz-Monasterio, E. Huerta y X. Zolueta. (2008). "Marco legal para el conocimiento tradicional sobre la biodiversidad." En: *Capital Natural de México: Conocimiento actual de la biodiversidad*. vol. I. Conabio: México, pp. 557-564.
- Carter, M. R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* (94). pp. 38-47.
- Castelán-Vega, R., Tamaríz, Flores, V., López, L. T., Linares, Fleites, G. y Cruz, M. A. (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca de la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *Terra Latinoamericana*. vol 35. núm. 3. pp. 229-235.
- Castelán-Vega, R., Tamaríz, Flores, V., Ruiz, C. J., Linares, Fleites, G. (2014). Evaluación de la sustentabilidad de la actividad agrícola de tres localidades campesinas en Pahuatlán, Puebla. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 1, núm. 3. p. 219-231.
- Castellanos, A. A. (2017). Modelo de intervención para agricultores del valle de Puebla: el caso del sistema milpa intercalada con árboles frutales. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Puebla].
- Castillo, I. D.; Ruiz, C. J.; González, E. D. R.; Flores, G. J. G. y Díaz, P. G. (2009). Distribucion espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura Técnica en México*, vol. 35. núm. 3. p. 267-276.
- Cstiñeiras, R. J. (2018). Asociación entre variables cualitativas; ejemplo práctico de análisis de correspondencias. [Tesis de Maestría, Universidad de Santiago de Compostela].
- Caviglia, O.P; Wingeyer, A. B. y Novelli, L. E. (2016). El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático. *Serie de extensión INTA Paraná* No. 78: 27-32.
- Centro de Investigación del Medio Ambiente (CIMA). (2009). Manual para la elaboración de encuesta: diseño, ejecución y tratamiento de los datos. Gobierno de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente. 1ª ed. ICANE, España. p. 76.
- Chenu, C., Angers, D. A., Barre, P., Derrien, D., Arrouays, D. y Balesdent, J. (2019). Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, 59-66.
- CONAFOR. (2016). Estudio de cuenca de abasto forestal Izta-Popo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 200 pp.
- Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos (CMES). (2020). Manual de evaluación de suelos énfasis en memoria edáfica, materia orgánica e hidroedafología. México.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS- Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf

Córdoba, C. y León, T. (2010). Effects of Agroecological and Conventional Handling In Slug Populations In Lettuce in Tenjo Cundinamarca. *Acta Biológica Colombiana*. Vol. 15. Núm. 1, 115-128 pp.

Corwin, DL y Lesch S. (2005). Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity. *Survey protocols computers electronics Agric*. 46: 103-123.

Cotler, H., Martínez, M. y Etchevers, J. D. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación políticas públicas. *Terra Latinoamericana* 34: 125-138.

Cremona, M. V. y Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: el pH y la conductividad eléctrica. *Presencia XXXI* (73):5-8.

Crystal-Ornelas, R., Thapa, R., Tully, K. (2021). Soil organic carbon is affected by organic amendments, conservation tillage, and cover cropping in organic farming systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (312) 12 p.

Díaz-Núñez, F. O., Escobedo-Castillo, J. F., Méndez-Espinoza, J. A., Ramírez-Valverde, B. y Ramírez-Juárez, J. (2012). Multiactividad laboral y reproducción de las unidades domésticas en el municipio de Nealtican, estado de Puebla, México. *Cuadernos de desarrollo rural*. vol. 9 núm. 69. pp. 83-102.

Eiza, J. E., Fioriti, N., Studdert, G. y Echeverría, H. (2005). Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. *Unidad Integrada Facultad Ciencias Agrarias*.

Escobar-Pérez, J. y Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. En *Avances en Medición*. (6), pp. 27-36.

Espinosa, C. A., Tadeo, R. M. y Tapia, N. (2000). Variedades no convencionales como opción para elevar la productividad de maíces locales en Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 11 (1): 159-161.

Estrada, R., Hidalgo, C., Gúzman, R., Almaraz, J., Navarro, H., Etchevers-Barra, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Revista AGROECNIA*, disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>

Estrella, C. N., Morgado, G. A., Escudero, U. A., Abrego, C. H., Muñiz, M. I., Lima, Ch. J., Martínez, C. N. y Santos, H. R. (2009). Diagnóstico de la producción de artesanías en San Nicolás de los Ranchos: Las últimas manos que tallan la piedra. En: *Diagnóstico Social Comunitario*. Universidad Autónoma Indígena de México. 353-377 pp.

FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia. 111 p.

- FAO. (2017). Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia. 90 p.
- FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia. 83 p.
- FAO. (2013). Administración de Fincas y Aspectos Económicos de la Agricultura de Conservación. Recuperado de http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/fme/economic.pdf
- FAO. (2016). Propiedades físicas del suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/soil-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- FAO. (2019). Recarbonización de los suelos del mundo. Rome. 12pp.
- Fernández-Sanjurjo, M. J. (2003). Influencia de los fragmentos gruesos en algunas propiedades físicas y químicas del suelo: antecedentes y estado actual del tema. Revista de la sociedad Española de la Ciencia del Suelo, núm. 6. 95-107 pp.
- Flores-Delgadillo, L., S. L. Fedick, E. Solleiro R., S. Palacios M., P. Ortega L., S. Sedov, and E. Osuna C. (2011). A sustainable system of a traditional precision agriculture in a Maya home garden: Soil quality aspects. Soil Tillage Res. 113: 112-120
- Fondo Mundial para la Naturaleza, (20 de septiembre de 2019). *El cambio climático, es tal vez, el reto más grande que la humanidad ha enfrentado.* https://wwf.panda.org/es/que_hacemos/clima_y_energia/
- Galicia, L., A. M. Gamboa Cáceres, S. Cram, B. Chávez Vergara, V. Peña Ramírez, V. Saynes y C. Siebe. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. Terra Latinoamericana 34: 1-29.
- García, E., Hernández, E. A., Acevedo, O. A., y Prieto, F. G. (2014). Cu, Fe, Mn y Zn en suelos agrícolas localizados al noreste de Tlaxcala, México. Revista Iberoamericana de Ciencias. vol. 1. pp. 205-212.
- García, R. (2011). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales, 1, 1. Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4828/pr.4828.pdf
- García, R. (2006). Sistemas complejos Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Ed. Gedisa, S.A. Barcelona, España. 202 pp.
- García N. R. M., Galan, R. M., Axayacatl, J., Cuevas, S. R. (2020) Identificación y caracterización morfológica de agaves en sistemas agroforestales con metepantle en tierras campesinas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol. 11 núm. 4. 917-929 pp.

- Gil, M. A., López, P. A., Muñoz, O. A. y López-Sánchez, H. (2004). Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. En Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales, editores: José Luis Chávez Servia, John Tuxill y Devra I. Jarvis. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia.
- Gómez-Espinoza, J. A. Y Gómez-González, G. (2006). Saberes tradicionales agrícolas indígenas y campesinos: rescate, sistematización e incorporación a las IEAS. *Ra Ximhai*, vol. 2, núm.1 p. 97-126.
- González, Eglé, M. (2007). Fundamentos de totalidad y holismo en las competencias para la Investigación. *Laurus*, vol. 13, núm. 24. p. 338-354.
- González, G. E. (2005). La observación directa base para el estudio local. *Geoenzeñanza*, vol. 10, núm 1.pp. 101-105.
- González. G. M.F. (2019). Carbono orgánico del suelo bajo diferentes condiciones forestales, bienes comunales de San Juan Cuahutémoc. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Puebla].
- Gou, Y., Fan, R., Zhang, Y., Wu, D., Mclaughlin, N., Zhang, S., Chen, X., Jia, S. y Liang, A. (2020). Science of the Total Environment Tillage-induced effects on SOC through changes in aggregate stability and soil pore structure. *Science of the Total Environment*, (703), 12 pp.
- Gricom, B. W., Adams, J., Ellis, P., Houhgton, R., Lomax, G., Miteva, D. y Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *PNAS* (114) 11645-11650 pp.
- Hernández, S. J. E. (2015). *Transnacionales y grupos vulnerables, efectos de las ciudades rurales en Chiapas y Puebla* [Tesis de Licenciatura, Benemérita Universidad de Puebla].
- Hernández-Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. 6ta edición. McGRAW-HILL, México. 634 p.
- Herzfeld, T., Heinke, J., Rolinski y Müller, C. (2021). Soil organic dynamics from agricultural management practices under climate change. 30 pp.
- Hui, L., Feng, W., Xin-hua, H., Ping, ZHU., Gao, H., Sun, N., y XU, M. (2017). Chemical fertilizers could be completely replaced by manure to maintain high maize yield and soil organic carbon (SOC) when SOC reaches a threshold in the Northeast China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(4): 937–946 pp.
- Iglesias, J. M. (1999). Sistemas de producción agroforestales. Conceptos generales y definiciones. En Pastos y Forrajes. Cuba. Ed. Estación experimental de pastos y forrajes. 299 p.
- INEGI. (2015). México en cifras. Información nacional, por entidad federativa y municipios. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Recuperado de:

<http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=21> (2 de octubre de 2021).

- INEGI. (2012). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Andrés Calpan, Puebla. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/21/21143.pdf>. (2 de octubre del 2021).
- IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Published: IGES, Japan.
- IPCC. (2007): Resumen para Responsables de Políticas. En, Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.
- Jaramillo, D.F. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia: UNC., 613 pp.
- Jaramillo, M., Ortiz, N. y González, G. S. (2015). Agroindustria azucarera y finca tradicional en el norte plano del Cauca (Colombia). Perspectivas históricas y claves etnográficas. Memoria y Sociedad. (19), 39, 30-47 pp.
- Juárez, R. J., Fragoso, G., Turrent, A., Ocampo, J., Sandoval, E., Ocampo, I., Ferrera, R. y Hernández, E. R. (2008). Mejoramiento del suelo en la milpa intercalada con árboles frutales (MIAF). LEISA Revista de Agroecología, (2), 30-31 p.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L.M., Serratos, R.A. (2009). Origen i diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 p.
- Kulli, B. (2002). Analysis of flow patterns. The influence of soil compaction and soil structure. Thesis for the degree of Doctor of Natural Sciences, Swiss Federal Institute of Technology. 109 p.
- Labrador, J. (2012). Avances en el conocimiento de la dinámica de la materia orgánica dentro de un contexto agroecológico. Agroecología 7:91-108.
- Lal, R. (2003). Offsetting global CO₂ emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry, <https://doi.org/10.1002/ldr.562> , (14), 309-322 pp.
- Lal, R., K. Lorenz., R. F. Hüttl., B. Schneider, y J. Braun. (2012). Recarbonization of the Biosphere. Springer Dordrecht.
- Ley de Derechos, Cultura y Desarrollo de los Pueblos y Comunidades Indígenas del Estado de Puebla. Publicada el 24 de enero de 2011. Disponible en:

https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/Indigenas/OtrasNormas/Estat al/Puebla/Ley_DCDPCIPue.pdf

- Ley 530-Bolivia. (2014). Estado Plurinacional de Bolivia, ley del patrimonio cultural boliviano. Recuperado de pdf en línea: https://sea.gob.bo/digesto/CompendioII/E/34_L_530.pdf
- López, G. J. L., D. Huato, M. A., Alvarez, G. J. F., Parra, I. F. y Zuluaga, S. G. P. (2012). La economía de traspasío como estrategia de supervivencia en San Nicolás de los Ranchos, Puebla, México. *Revista de Geografía Agrícola*, núm. 48. pp. 51-62.
- López, G. J. L., Méndez, E. J. A., Álvarez, G. J. F. y Martínez, C. B. (2019). Estrategias campesinas de mitigación y adaptabilidad al cambio climático en Calpan, Puebla, México. En: *Reflexiones de género sobre cambio climático en comunidades rurales del centro de México*. UNAM. México. 270 p.
- López, G. J. L., Huato, M. A., Álvarez, G. J. F. y Méndez, E. J. A. (2018). El dialogo de saberes del maíz en Calpan, Puebla. *Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*.
- López, G. J. L., Mendez, E. J. A., Rappo, M. S. E., Huato, M. A., Álvarez, G. J. F. y Paredes, S. J. A. (2018). Transformaciones territoriales y estrategias de supervivencia: el caso del municipio de Calpan, Puebla-México 1990-2015. *Papeles de Población*, Vol. 24 (97), pp. 255-283, 2018
- MacDicken, K. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington.
- Machado, M., Nicholls, C., Márquez, S. y Turbay, S. (2015). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *Revista Scielo*, 33 (1), 69-83 pp.
- Marquez, Z. I. D. (2022). Evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas campesinos en el municipio de San Jerónimo Tecuanipan, Puebla. Universidad Iberoamericana Puebla. Repositorio institucional. Recuperado de: <http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>
- Martínez, H. E., Fuentes, J. P., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 8 (1). pp. 68-96.
- Martínez, C. B. y Hernández, F. J. A. (2016). Estrategias económico-productivas en comunidades rurales transnacionales: el caso de San Mateo Ozolco, Puebla. 21° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Mérida, Yucatán.
- Martínez Romero E y L. G. Esparza Olguín. (2020). Teorías de sistemas complejos: marco epistémico para abordar la complejidad socioambiental. *Intersticios Sociales El Colegio de Jalisco* núm. 21
- Mekki, A., Aloui, F. y Sayadi, S. (2019). Influence of biowaste compost amendment on soil organic carbon storage under arid climate, <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1374311>, (69), 867-877, pp.

- Mora, D. (2012). Diálogo y transferencia dialéctica de saberes/conocimientos. En Revista Integra Educativa, 5 (3), 31-75.
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M. Y Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales de México: Una Aproximación Biocultural. Botanical Sciences 91 (4): 375-398 pp.
- Naciones Unidas, (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago
- Norma Oficial Mexicana NOM – 021 – RECNAT – 2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. (2002). Diario Oficial.
- Novillo, E. I.; Carrillo, Z. M.; Cargua, C. J.; Nabel, M. V.; Albán, S. K. y Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de los Ríos, Ecuador. Temas Agrarios, vol. 23, núm. 2. 177-187 pp.
- Núñez, J., 2004. Los Saberes Campesinos: Implicaciones para una Educación Rural. Investigación y Postgrado, 19(2), pp. 13-60.
- Osorio-García, N., López-Sánchez, H., Ramírez-Valverde, B., Gil-Muñoz, A. y Gutiérrez Rangel, N. (2015). Producción de maíz y pluriactividad de los campesinos en el Valle de Puebla, México. Revista Electrónica Nova Scientia, N° 14 Vol. 7 (2). 577.600.
- Padilla, D. y Suchini, J. (2013). Guía para el sondeo agroecológico de suelos y cultivos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Manual técnico, (112), 17 p.
- Paucar, C. (2015). Revalorización de los saberes ancestrales agrícolas y manejo poscosecha de alimentos y su relación con la práctica alimentaria y nutricional en tres escenarios de la parroquia Quisapincha. [Magister en Agroecología y Ambiente, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias].
- Paul, E. (2014). Soil microbiology, ecology and biochemistry. Academic Press. pp. 598.
- Pérez- Ramírez, S., Ramírez, M.I., Jaramillo-López, P.F. y Bautista, F. (2013). Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reserva de la biosfera mariposa monarca, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Vol. (19) 1, 157-173 pp.
- Pérez-Avilés, R., Azuara-García, G., Palacios-Rosas, E., Barreiro-Zamorano, S., Alcántara Flores, J. L., Ramírez-Bravo, E., Mora-Ramírez, M. A. y Ortiz-Espeje, B. (2020). Región Biocultural Centro. Los Nahuas, pueblos invisibilizados de los volcanes del Valle de Puebla Tlaxcala. Complejos bioculturales de México: bienestar comunitario en escenarios de cambio climático. 34 p.
- Perez, S. M. J. (2012). Terrazas y Metepantles: manejo de tierra y agua en una comunidad en el Altiplano Mexicano. Perspectivas Latinoamericanas. Núm. 9. 99-11 pp.

- Porta, C. J., López – Acevedo, R. M., Roquero, C. (2003) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ra Edición. Ediciones Mundi . Prensa, Barcelona.
- Porta, C. J., & López-Acevedo, R. M. (2005). *Agenda de campo de suelos: información de suelos para agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 541 p
- Qin, Z., Y. Huang, y Q. Zhuang. (2013). Potencial de secuestro de carbono orgánico del suelo de las tierras de cultivo en China, *Biogeochem global*. Ciclos, 27,711–722.
- Restrepo, J. M., Ángel, D.S. y Prager M. M. (2000). Agroecología.
- Reyes-Reyes, Ana, K., Ocampo-Flores, I., Ramirez-Valverde, B., Ortiz-Torres, E., Sánchez-Morales, P. y Acosta-Mireles, M. (2020). Campesinidad y agroindustrialidad de los sistemas agroforestales de San Andrés Calpan, Puebla. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23 (98): 1-11.
- Ricardo Pérez -Avilés, R., Silva, G. S. E. y Toxtle, T. S. (2006). Capítulo X. El Conocimiento Popular, campesino e indígena desde abajo: El caso Puebla En: Biodiversidad y conocimiento tradicional en la sociedad rural. Entre el bien común y la propiedad privada. Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.
- Rieder, M. C. (2021). Propuesta de compostaje comunitario en Santa Isabel Cholula (México) y en Sant Jaume Sesoliveres (Cataluña). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Robert, M., Stengel, P. 1999. Sols et agriculture: ressource en sol, qualité et processus de dégradation. *Cahiers Agricultures* 8 (4): 301-308.
- Robles Garrote, P. y Rojas, M. D. C. (2015). La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. *Revista Nebrija de Lingüística Aplicada* (18).p. 16.
- Rodríguez, C.; Cortiza, W. M.; Pereira, M. C.; Chacón, A. I.; Gattorno, S.; Rodríguez, O.; Rodríguez, A.; Jiménez, R. y Torres, N. A. (2015). Determinación VIS/NIR del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas pardos mullidos medianamente lavados. *Centro agrícola*, vol. 42. pp. 5-12.
- Rodríguez, R. A., Arabelo, C. D., Notario, J. S., Mora, J.A., Guerra, M. y Armas, C. M. (2004). Contenido y formas de carbono orgánico en andosoles forestales: aproximación a su dinámica. *Edafología* 11 (1). pp. 67-102.
- Rojas, J. M., Schahovskoy, N. y Toledo, M. (2021). Relación y cuantificación de calidad de los suelos en huertas de chaco (Argentina). *Ciencias del Suelo (Argentina)* 39 (2): 331-346 pp.
- Rubio, G. A. M. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los Alcornocales. [Tesis de Matesría, Universidad de Sevilla].
- Ruíz, C. J., Calderón, F. E., Tamaríz, F. J. V., Tremols, G. J., Cruz, M. A., Valera, P. M. A., Handal, S. A. (1999). Manual para la descripción de suelos y evaluación del entorno. Textos BUAP, Puebla, México.

- Ruíz, A. D., Jiménez, L., Figueroa, O. L., y Morales, M. (2012). Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol.3. pp. 1605-1621.
- Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -- 1. ed. -- Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 79 p.
- SAGARPA (2017). Puebla alcanza el primer lugar nacional en producción de tecojote: SAGARPA. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/puebla-alcanza-primer-lugar-nacional-en-produccion-de-tejocotes-sagarpa>
- Salamanca, J. A. y Sadeghian, K. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56 (4):381-397.
- Sánchez, M. P. y Romero, A. O. (2018). Evaluación de la sustentabilidad del sistema milpa en el estado de Tlaxcala, México. *Revista del Colegio de San Luis Nueva Epoca*, 15 (VII): 107-134.
- Sarandón, S. y Flores, C. (2014). Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables. Universidad Nacional de La Plata, 466 p.
- Schmidt, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D. A. C., Nannipieri, P., Rasse, D. P., Weiner, S. and E. Trumbore, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478: 49–56.
- Schmidt, E. B. (2006). Capítulo VI.Territorios y diversidad biológica. La agrobiodiversidad de los pueblos indígenas de México. En: Biodiversidad y conocimiento tradicional en la sociedad rural. Entre el bien común y la propiedad privada. Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.
- Schlegel, B., Gayoso, J., Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad de Chile. Valdivia, Chile.
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). (2014). Catálogo de localidades. <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/indi-MarginacLoc.aspx?refnac=210260003>. (20 de octubre de 2021).
- Soto-Mora, E.; Hernández-Vázquez, M.; Luna-Zendejas, H.; Ortiz-Ortiz, E. y García-Gallegos, E. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. vol. 3. núm. 5. pp. 98-105.
- Solís, H. A., Nájera L. J. A., Méndez, G. J., Vargas, L. B. y Álvarez, G. M. (2014). Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia*. Vol. 22, núm. 63. p 5-11.

- Setyawati, I. 1996. Environmental variability, indigenous knowledge, and the use of rice varieties. *Indig.Know.Develop.Monitor* 4(2). 11-13pp.
- Taboada, M. A; Alvarez, C. R. (2008). Fertilidad física de los suelos. 2da ed. editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Trindade, V. y Torillo, D. (2016). La entrevista no estructurada en sectores de actividades informales: obstáculos y facilitadores. V Encuentro Latinoamericano de Metodología de las Ciencias Sociales. Argentina.
- UNACH. (2020) Formato de validación por expertos. En: https://www.unach.cl/wp-content/uploads/2018/06INSTRUMENTOS_Validacion_expertos_cuestionario.docx
- Valdivieso, G. F. (2017). *Recuperación de saberes y prácticas ancestrales de producción agrícola para la sostenibilidad integral de la comunidad Pichig, Cantón Loja, provincia de Loja* [Tesis de Maestría, Pontifica Universidad Católica del Ecuador].
- Valera, P. M.A., Licona, V. E., Soni, P. M. E., Zuñiga, S. F. E., Urizar, P. L.P., García, S. D.A., Vega, H. M., Silveti, L. A., Ramirez, C. L. A., Chavarin, P. Y. y Tenorio, A. M.G. (2020). Recuperación de la Milpa Nahua como estrategia para la recarga del acuífero a partir de la conservación de suelos y rehabilitación del Metepantle en comunidades indígenas de las zonas de montaña de la cuenca Alto Atoyac (Estados de Puebla y Tlaxcala), desde un enfoque intercultural, territorial y socio-ambiental. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. Vol. 11 (28): 85-92 pp.
- Vásquez-Polo, J. R., Macías-Vázquez, F. y Menjivar-Flores, J. C. (2011). Formas de carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el departamento del Magdalena (Colombia). *Acta Agronómica*, 60 (4), 369-379 pp.
- Vela, C. G., López, B. J., Rodríguez, G. Ma. (2011). Niveles de carbono orgánico en el suelo de conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de geografía, UNAM*, Núm. 77, 18-30 pp.
- Vergara-Buitrago, P. (2018). Los saberes campesinos como estrategia de desarrollo rural en la Serranía de los Yariguíes (Santander, Colombia). *Anales de la Geografía de la Universidad Complutense*. vol.38, núm. 2. p 461-477.
- Vergara, G. A. F. (2020). Manejo sociocultural con base en saberes tradicionales y su efecto en el suelo de agroecosistemas de Guacarí, Valle del Cauca. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias].
- Vergara-Sanchez, M. A., Etchevers-Barra, J., Vargas-Hernández, M. (2004). Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. *Terra latinoamericana*. vol. 22. núm.3. pp. 359-367.
- Villegas, G. V. A. (2014). Variación del carbono orgánico en suelos del altiplano potosino oeste. Universidad Autonoma de San Luis Potosí.

- Von Lützow, M., Kögel-Knabner, L., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B. and Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. *European Journal of Soil Science*. 57: 426-445.
- Wolf, B., y Snyder, G. H. (2003). *Sustainable soils: The place of organic matter in sustaining soils and their productivity. food products Press of the Haworth press*. New York.
- Yescas-Coronado, P., Álvarez-Reyna, V., Segura-Castruita, M. A., García-Carrillo, M., Hernández-Hernández, V., González-Cervantes, G. (2018). Variabilidad espacial del carbono orgánico e inorgánico del suelo en la Comarca Lagunera, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 70 (3): 591-610 pp.
- Zamora-Morales, B., Mendoza-Cariño, M., Sangerman-Jarquín, D. y Navarro, B. A. (2018). El manejo del suelo en la conservación de carbono orgánico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. vol 9. núm. 8.

XII. ANEXOS

Anexo1: formato para descripción de agroecosistemas (Ruiz et al.,1999).

GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS Y EVALUACIÓN DEL ENTORNO

PROYECTO: La Cumbre de Isidro Medina ALTURA: 2263 m.s.n.m.
 PERÍODE: 10/05/77 DESCRIPCIÓN: Edel Garza LOCALIDAD: Calpan, Quintana Roo MUNICIPIO: Calpan
 COORDENADAS: N 18° 06' 46" W 98° 25' 43" ESTADO DEL TIEMPO CLARO: X Lluvias: X

SOL: INDICADO CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol
 HORIZ. DIAGNÓSTICO: 0-30 cm PROF. DIAGNÓSTICO: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

EDAD DEL SUELO		TIPO DE FORMACIÓN		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
JÓVEN	MAJURO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%		NULA	
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CLASIFICACIÓN: Andisol PROC. FORMACIÓN: Andisol

CONDICIONES DEL ENTORNO

DRENAJE		EXPOSICIÓN		GRADO		RELIEVE		PENDIENTE		HOLIEDAD HUMANA	
INTERNO	EXTERNO	ALUVIAL	COLUMAR	LAMINAR	EN SURCOS	NULA	LEVE	LIANO	LIANO	10%	
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐

Anexo 2: Formato de ENCUESTA

	BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA INSTITUTO DE CIENCIAS POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES “La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra” Evaluación de la recarbonización del suelo en sistemas agroecológicos de la microcuenca Atlautla, Puebla Biólogo: Edel Gómez Otamendi	
---	--	---

Reciba un cordial saludo, y sea de su conocimiento que esta encuesta tiene el propósito de conocer su experiencia sobre el campo, no existen respuestas equivocadas o correctas, su participación es de gran ayuda para la generación de conocimiento que pueda ser útil y compartido. De antemano gracias por su tiempo.

Localidad:

fecha:

Nombre:

sexo: (M) (F)

edad:

1. **Su terreno qué tipo de propiedad es:**
 - a) ejidal b) comunal c) privada d) federa o público e) otra
2. **¿Qué actividad realiza en su terreno?**
 - a) agricultura b) ganadería c) ambas d) otra actividad diferente de la agricultura
3. **¿Cuál es la extensión de su tierra en hectáreas?**
 - a) 1-5 ha b) 5-10 ha c) más de 10 ha
4. **¿Qué tanto depende económicamente de la agricultura?**
 - a) totalmente b) parcialmente c) poco d) no sabe
5. **¿En qué porcentaje su terreno es de:**
 - a) riego.....% b) temporal.....%
6. **Para fertilizar sus cultivos utiliza:**
 - a) químico b) natural (estiércol, rastrojo, etc.) c) biofertilización d) combinación entre uno y otro
7. **¿Qué tipo de plaguicidas utiliza?**
8. **¿Qué siembra?**
9. **¿Qué tipo de semilla utiliza?**
 - a) criolla b) mejorada o certificada c) transgénica o genéticamente modificada

10. ¿Qué tipo de agroecosistema de cultivo tiene en su terreno?

- a) monocultivo b) policultivo c) milpa d) maíz intercalado con árboles frutales d) metepantle
e) rotación de cultivo

11. ¿Cuántos familiares participan en las actividades del campo?

12. Marque si tiene alguno de los siguientes problemas en el desarrollo de su actividad

Pérdida de fertilidad del suelo..... (si) (no)

Pérdida de cosecha por sequía, heladas, vientos, granizo, plagas..... (si) (no)

Altos costos de insumos..... (si) (no)

Cambios en la temporada de lluvia..... (si) (no)

13. Subraye si utiliza algún o algunos de los siguientes sistema de conservación de suelos:

fertilizantes naturales siembra en curvas de nivel

labranza mínima cubrir el suelo con restos vegetales agroforestería cosecha de agua

terrazas bordos selección de semilla criolla

14. ¿Usa actualmente técnicas agrícolas tradicionales? Si es así describa esas técnicas y como cree que pueden ser preservadas

15. ¿Me podría mencionar algún consejo que le dieron sus antepasados para sembrar la tierra?

16. ¿Qué herramientas usa para sembrar la tierra que antes no?

17. ¿Se rige por las fases lunares para su cosecha?

18. ¿Podría describir si realiza algún ritual antes de cosechar?

Anexo 3: formato de Entrevista semiestructurada (guía de preguntas)

	BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA INSTITUTO DE CIENCIAS POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES “La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra” Evaluación de la recarbonización del suelo en sistemas agroecológicos de la microcuenca Atlautla, Puebla Biólogo: Edel Gómez Otamendi	
--	--	---

Apertura: Buen@s (días/tardes), mi nombre es Edel Gómez Otamendi, Muchas gracias por permitirme un espacio de su tiempo para poder realizar esta entrevista. Le quiero comentar que el objetivo de este trabajo es escuchar y aprender de sus experiencias en el campo, en la siembra, en el manejo de cultivo, etcétera. Esto es completamente académico y lo que usted me platique es confidencial tenga la confianza de que sus datos están seguros.

Nombre:

género:

Edad:

1. ¿Por qué decidió dedicarse al campo? ¿Quién le enseñó a cultivar?
2. ¿Me podría decir que es para usted el conocimiento campesino?
3. ¿Considera que lo que sabe sobre el campo es parte de las tradiciones, costumbres, y de la forma de vivir aquí en Calpan?
4. ¿Por qué cree usted que es útil tomar en cuenta los conocimientos de antes para sembrar la tierra?
5. ¿Cree usted que deben mantenerse y enseñarse a los más jóvenes los conocimientos de antes de como sembrar el campo?
6. ¿Cuáles son las cosas buenas y malas de usar la tecnología y los químicos por ejemplo para sembrar la tierra?
7. ¿Cómo identifica usted que el suelo está fértil (bueno para sembrar)?
8. ¿Desde cuándo ha estado trabajando la tierra?
9. ¿Qué tipo de sistema de cultivo utiliza?
10. ¿Qué cultiva usted?
11. ¿Cuáles son las épocas o meses que se realiza la siembra? ¿Cómo soluciona usted algún problema si se cambian esas fechas?
12. ¿Cree usted que siembra de la misma forma como hacían antes sus antepasados? ¿En qué ha cambiado? ¿Si se está perdiendo a que se debe?
13. ¿Qué se hace antes de comenzar la siembra? ¿El suelo que tratamiento recibe?

14. ¿Cómo se seleccionan las semillas?
15. ¿Qué tipo de semilla se siembra?
16. ¿Cómo fertiliza el suelo?
17. ¿Cómo almacenan lo que se cosecha, cuánto tiempo almacenan, lo venden?
18. ¿Qué actividades considera que lleva a cabo para cuidar el suelo de sus parcelas?
19. ¿Cómo protege su cultivo de la maleza, insectos y demás?
20. ¿Me podría mencionar algún consejo que le dieron sus antepasados para sembrar la tierra?
21. ¿Qué cosas usa para sembrar la tierra que antes no hacía?
22. ¿Ha percibido variaciones climáticas que han afectado sus cultivos?
23. ¿Por qué cultivan si su ingreso ya no es por la agricultura?

Cierre: Quiero agradecerle nuevamente por el tiempo que le ha dedicado a esta platica y si hay algo en que pueda servirle con gusto estoy para ayudar.

Anexo 4: Validación de encuesta

El número de expertos fue de 4.

1. La puntuación va de 1 a 6 (<<muy desacuerdo>> a <<muy de acuerdo>>), se asigna el promedio de adecuación y el promedio de pertinencia de cada pregunta del cuestionario.
2. Si el promedio de expertos es 4 o más, para las dos opciones, entonces la pregunta se encuentra validada

PREGUNTA		PUNTUACIÓN EXPERTOS						VALIDACIÓN Pregunta (Sí/No)
Núm.	Evaluación	1	2	3	4	SUMA puntuaciones	PROMEDIO Puntuaciones	
1	Adecuación	6	5	5	6	22	5.5	Si
	Pertinencia	5	5	6	5	21	5.2	
2	Adecuación	6	5	6	6	23	5.7	Si
	Pertinencia	6	6	6	6	24	6	
3	Adecuación	4	5	5	6	20	5	Si
	Pertinencia	5	4	6	5	20	5	
4	Adecuación	4	5	6	4	19	4.7	Si
	Pertinencia	4	5	5	5	19	4.7	
5	Adecuación	4	5	6	5	20	5	Si
	Pertinencia	5	6	5	6	23	5.7	
6	Adecuación	4	5	6	6	21	5.2	Si
	Pertinencia	5	6	5	6	23	5.7	
7	Adecuación	6	6	5	5	23	5.7	Si
	Pertinencia	5	5	6	5	21	5.2	
8	Adecuación	5	6	6	6	23	5.7	Si
	Pertinencia	5	6	6	6	23	5.7	
9	Adecuación	5	5	6	5	21	5.2	Si
	Pertinencia	6	6	5	5	22	5.5	
10	Adecuación	6	6	6	6	24	6	Si
	Pertinencia	6	6	6	6	24	6	
11	Adecuación	6	6	6	6	24	6	Si
	Pertinencia	6	6	6	6	24	6	
12	Adecuación	5	4	4	6	19	4.7	Si
	Pertinencia	5	5	6	6	23	5.7	
13	Adecuación	6	6	6	6	24	6	Si
	Pertinencia	6	6	5	5	22	5.5	
14	Adecuación	5	6	6	6	23	5.7	Si
	Pertinencia	5	6	6	6	23	5.7	
15	Adecuación	4	4	6	6	20	5	Si
	Pertinencia	6	5	6	5	22	5.5	
16	Adecuación	5	5	5	5	20	5	Si
	Pertinencia	5	6	5	5	21	5.2	
17	Adecuación	5	5	4	4	18	4.5	Si
	Pertinencia	5	5	5	6	21	5.2	
18	Adecuación	5	6	6	6	23	5.7	Si
	Pertinencia	6	6	6	6	24	6	

Anexo 5: Tablas de ANOVA para un solo factor (Agroecosistemas x COS Mg/ha)

H0: $\mu_1 = \mu_2 \dots \mu_k$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2 \dots \mu_k$ nivel de confianza 95% $\alpha = 0.05$

5-A Mg/ha⁻¹ de COS en los diferentes agroecosistemas (sitios: 1-15)

Shapiro-Wilks	Normality test
p-value= 0.0675	p> 0.05 (α) Ho: La distribución es normal

Bartlett	test of homogeneity of variances
p-value= 0.0710	p> 0.05 (α) Ho: Las varianzas son iguales

Análisis de Varianza					
	Df	Sum sqrs	Mean sqr	F-Valor	P-Valor
Agroecosistema	14	4289	306363	1.931E07	<2e-16
Error	30	0.0475	0.00158		
Total	44	4289.0475			

6-B Mg/ha⁻¹ de COS en los diferentes sistemas de cultivo (Milpa, MIAF, Metepantle, Monocultivo, Bosque)

Shapiro-Wilks	Normality test
p-value= 0.1014	p> 0.05 (α) Ho: La distribución es normal

Bartlett	test of homogeneity of variances
p-value= 0.0621	p> 0.05 (α) Ho: Las varianzas son iguales

Análisis de Varianza					
	Df	Sum sqrs	Mean sqr	F-Valor	P-Valor
Agroecosistema	4	81768	20442.2	3.102	0.065
Error	10	61167	6116.74		
Total	14	142935			

Anexo 6 Tablas de indicadores, dimensiones y atributos

A) Clasificación de la dimensión económica de los agroecosistemas en escala del 1 al 4

Dimensión económica			sitios											
Atributo	Indicador	Escala (1-4)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Seguridad alimentaria	Diversidad de productos	1.Muy baja: un solo producto										1	1	1
		2.Baja: con dos productos		2	2			2	2		2			
		3. Media: con tres productos	3			3	3			3				
		4.Alta: con cuatro productos o más												
	Autoconsumo	1.Muy bajo: 1-30%				1	1							
		2.Bajo: del 30%-40%		2	2			2	2		2		2	2
		3.Medio: 40%-60%												
		4.Alto: del 60%-100%	4							4		4		
Rendimiento	Producción por área/año	1. Muy baja: de 1.000-2.000 kilos												
		2. Baja: de 3.000-5.000 kilos	2	2	2			2	2	2	2	2	2	2
		3. Media: de 6.000-9.000 kilos				3	3							
		4. Alta: de 10.000-12.000 kilos												
		Total de dimensión	9	6	6	7	7	6	6	9	6	5	5	5

B) Clasificación de la dimensión técnico-productiva de los agroecosistemas en escala del 1 al 4

Dimensión Técnico-productiva			sitios											
Atributo	Indicador	Escala (1-4)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Estado de conservación del suelo	Empleo de insumos orgánicos	1. Muy baja: 100% los insumos no son orgánicos y se compran												
		2. Baja: 80-60% los insumos no son orgánicos		2					2				2	2
		3. Media: 60-20% los insumos no son orgánicos	3		3	3	3	3		3	3	3		
		4. Alta: 100% los insumos son orgánicos												
	Profundidad efectiva	1. Muy baja: suelos muy resistentes a la penetración, con alta pedregosidad o condiciones muy húmedas.												
		2. Baja: suelos resistentes a la penetración, moderadamente pedregosos o condiciones húmedas.												
		3. Media: suelos moderadamente	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

		resistentes, poco pedregosos, o poco húmedos.												
		4. Alta: suelos sin resistencia, sin pedregosidad, sin humedad.												
Salud del cultivo	Estado de materia orgánica superficial	1. Muy baja: presencia generalizada de residuos poco descompuestos, de tamaño grande.						1	1	1	1		1	1
		2.Baja: presencia generalizada de residuos parcialmente descompuestos, de tamaño medio.		2	2									
		3. Media: presencia generalizada de residuos moderadamente descompuestos, de tamaño medio a fino.	3			3	3					3		
		4. Alta: presencia generalizada de residuos bien descompuestos, de tamaño fino.												
	Cobertura del suelo	1. Muy baja: la totalidad del suelo está desnudo durante												

		todo el año.												
		2. Baja: el suelo tiene una cobertura entre 1 y 40% de su área, durante seis meses del año.						2	2	2	2		2	2
		3. Media: el suelo tiene una cobertura entre 40 y 80% de su área durante diez meses del año.		3	3		3					3		
		4. Alta: el suelo tiene una cobertura mayor del 80% de su área durante más de diez meses del año.	4				4							
	Control de erosión	1. Muy bajo: más de 40% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales o entre 75 y 100% del horizonte A se ha perdido.												
		2. Bajo: entre el 20 y el 40% de la zona de muestreo presenta cárcavas o canales. Entre 50 y 75% del horizonte A se ha perdido.												
		3. Medio: entre el 5 y el 20% de la zona de muestreo presenta												

		cárcavas o canales. Entre 25 y 50% del horizonte A se ha perdido.												
		4. Alto: no hay muestras de erosión.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Apariencia y crecimiento del cultivo	1. Muy bajo: más del 50% del cultivo presenta clorosis, deficiencia o desbalance nutricional y crecimiento pobre y poco denso.												
		2. Bajo: entre 20 y 50% del cultivo presenta clorosis u otro síntoma severo de deficiencia o desbalance nutricional y cultivo moderadamente pero no muy uniforme.												
		3. Medio: entre 1 y 20% del cultivo presenta clorosis u otro síntoma severo de deficiencia o desbalance nutricional y cultivo denso, no muy uniforme.		3	3			3	3		3		3	3
		4. Alto: el cultivo no presenta ningún signo de clorosis o	4			4	4			4		4		

		problema nutricional y buen crecimiento uniforme.												
	Incidencia de plagas y enfermedades	1. Muy baja: más del 50% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas o enfermedades.												
		2. Baja: entre 20 y 50% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas o enfermedades.												
		3. Media: entre 5 y 20% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas o enfermedades.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		4. Alta: menos de 5% del cultivo muestra síntomas de daño por plagas o enfermedades.												
	Diversidad de especies	1. Muy baja: una sola especie cultivada.									1	1	1	
		2. Baja: dos especies no asociadas donde una especie ocupa el 70% del área cultivada, o dos especies asociadas donde una predomina con más del 70% y ocupa												

		estrato de cultivo.												
		3. Media: dos especies no asociadas con máximo de 70% del área por especie o dos especies asociadas donde ninguna supera el 70% del área y por lo menos una es arbustiva.		3	3			3	3	3	3			
		4. Alta: mayor dos especies no asociadas, con máximo de 50% del área por especie o mayor dos especies asociadas donde ninguna supera el 70% del área y son herbáceas, arbustivas y arbóreas.	4			4	4							
	Vegetación natural circundante	1. Muy baja: no hay áreas naturales en el agroecosistema												
		2. Baja: menos del 2% del área total de la finca está cubierta por vegetación natural, en forma de corredores y concentrada en una		2	2							2	2	2

		sola parte de la finca.											
		3. Media: entre 2 y 4% del área total está cubierta por vegetación natural, en forma de corredores, franjas y parches dispersos en varias partes de la finca.				3	3	3	3	3	3		
		4. Alta: más del 4 % del área total de la finca está cubierta por vegetación natural, en forma de corredores, franjas y parches dispersos en varias partes de la finca.	4										
Prácticas de manejo sociocultural	Preparación del terreno	1. Muy baja: Laboreo nulo.		1	1								
		2. Baja: Laboreo con maquinaria o tracción animal, según el cultivo y la presencia de plagas en el suelo.										2	2
		3. Media: Laboreo con tracción animal o manual, según presencia de plagas y necesidades del cultivo				3	3	3					
		4. Alta: Laboreo	4						4	4	4	4	

		mínimo para mejorar el agroecosistema y hábitat.												
	Fertilización	1. Muy baja: carente de aplicaciones de productos.												
		2. Baja: Aplicación rutinaria con productos y dosis acostumbradas, independiente del cultivo y análisis del suelo.						2	2					
		3. Media: Aplicación según requerimientos del cultivo y análisis del suelo.		3	3	3	3			3	3		3	3
		4. Alta: Aplicación para nutrir a la planta, reponer nutrientes y mejorar la vida en el suelo.	4									4		
	Insumos para la fertilización	1. Muy baja: Fertilizantes sintéticos sin abono orgánico												
		2. Baja: Aplicaciones Fertilizantes sintéticos mayor al 60% y menos de 40% de orgánicos.												
		3. Media: Aplicaciones	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

		fertilizantes orgánicos mayor al 60% y menos de 30% de sintéticos.												
		4. Alta: uso total de abonos orgánicos (suelo y foliar).												
	Manejo de plagas y enfermedades	1. Muy baja: Aplicación intensiva de productos en dosis acostumbradas (mezclas o específicos).												
		2. Baja: Aplicación moderada de productos en dosis acostumbradas.	2					2	2	2	2	2	2	2
		3. Media: Aplicación de productos específicos, según la severidad y los daños.		3	3	3	3							
		4. Alta: Aplicación de productos naturales y orgánicos, con base en criterios ecológicos y económicos.												
	Manejo de arvenses	1. Muy baja: Erradicación total de arvenses.								1		1	1	
		2. Baja: Erradicación moderada durante el		2	2				2	2				

		ciclo del cultivo.												
		3. Medio: Corte mecánico principalmente en periodos críticos.				3	3	3				3		
		4. Alto: Presencia de hierbas en el campo como vegetación acompañante y únicamente se erradican las más agresivas con los cultivos.	4											
	Insumos para el manejo de arvenses	1. Muy baja: Aplicación intensiva de herbicidas químicos												
		2. Baja: Aplicación moderada de herbicidas químicos.		2	2	2	2		2		2		2	2
		3. Media: Eliminación mecánica y manual.	3					3		3		3		
		4. Alta: Eliminación mecánica y manual en áreas específicas donde las hierbas son problemáticas.												
	Prácticas de conservación	1. Muy baja: Solo para los cultivos de interés.												
		2. Baja: cultivos de interés y parte del predio.		2	2								2	2
		3. Media: varios	3			3	3	3	3	3	3	3		

		sectores del agroecosistema.												
		4. Alta: se aplican en todo el agroecosistema en general.												
		Total de dimensión	55	42	43	51	50	45	43	47	44	50	36	34

C) Clasificación de la dimensión sociocultural de los agroecosistemas en escala del 1 al 4

Dimensión sociocultural			sitios											
Atributo	Indicador	Escala (1-4)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Redes sociales	Apoyo de mano de obra familiar	1. Muy bajo: no hay apoyo, contrata jornaleros.		1	1								1	1
		2. Bajo: Tiene la ayuda del cónyuge.							2	2				
		3. Medio: tiene la ayuda de los hijos.	3			3	3	3			3	3		
		4. Alto: tiene el apoyo del cónyuge y los hijos.												
	Organización comunitaria	1. Muy bajo: no pertenece a ninguna organización.												
		2. Bajo: pertenece a la junta auxiliar.	2	2	2			2	2	2	2	2	2	2
		3. Medio: pertenece a una asociación.												
		4. Alto: pertenece a una cooperativa o empresa.				4	4							
		Total de dimensión	5	3	3	7	7	5	4	4	5	5	3	3

Anexo 7: Matriz de datos de las dimensiones sociocultural y estado de conservación del suelo

Los resultados se muestran de la observación en campo, las encuestas y las entrevistas. Las variables cualitativas representan el valor de los indicadores. Los datos fueron transformados a factores en el programa R para poder realizar el Análisis de Correspondencia Múltiple.

Dimensión sociocultural e indicadores							
Individuos/Agro ecosistema	COS/ Mg/ha	Preparación del terreno	Fertilización	Manejo de plagas y enfermedades	Manejo de arvenses	Prácticas de conservación	Insumos para fertilización
1	COSA (3)	PRTRMB (4)	FERTMB (4)	PLAYENFM (2)	MAARVMB (4)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
2	COSB (1)	PRTRMM (1)	FERTB (3)	PLAYENFB (3)	MAARVM (2)	PRCONM (2)	INSFERB (3)
3	COSM (2)	PRTRMM (1)	FERTB (3)	PLAYENFB (3)	MAARVM (2)	PRCONM (2)	INSFERB (3)
4	COSMA (4)	PRTRB (3)	FERTB (3)	PLAYENFB (3)	MAARVB (3)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
5	COSMA (4)	PRTRB (3)	FERTB (3)	PLAYENFB (3)	MAARVB (3)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
6	COSM (2)	PRTRB (3)	FERTM (2)	PLAYENFM (2)	MAARVB (3)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
7	COSB (1)	PRTRMB (4)	FERTM (2)	PLAYENFM (2)	MAARVM (2)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
8	COSM (2)	PRTRMB (4)	FERTB (3)	PLAYENFM (2)	MAARVM (2)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
9	COSM (2)	PRTRMB (4)	FERTB (3)	PLAYENFM (2)	MAARVMM (1)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
10	COSMA (4)	PRTRMB (4)	FERTMB (4)	PLAYENFM (2)	MAARVB (3)	PRCONB (3)	INSFERB (3)
11	COSA (3)	PRTRM (2)	FERTB (3)	PLAYENFM (2)	MAARVMM (1)	PRCONM (2)	INSFERB (3)
12	COSM (2)	PRTRM (2)	FERTB (3)	PLAYENFM (2)	MAARVMM (1)	PRCONM (2)	INSFERB (3)

(COS= carbono orgánico del suelo [MA: muy alto, A: alto, M: medio, B: bajo], PRTR= preparación del terreno, FERT= fertilización, PLAYENF= manejo de plagas y enfermedades, MAARV= manejo de arvenses, PRCON= prácticas de conservación, INSFER= insumos para la fertilización). (MB: muy buena, B: buena, M: mala, MM: muy mala).

Dimensión estado de conservación del suelo e indicadores						
Individuos/Agroecosistema	COS/ Mg/ha	Empleo de insumos orgánicos	Materia orgánica	Diversidad de especies	Vegetación natural circundante	Cobertura del suelo
1	COSA (3)	EmpinsorgB (3)	MOB (3)	DVSPMB (4)	VGCIRMB (4)	COBSMB (4)
2	COSB (1)	EmpinsorgM (2)	MOM (2)	DVSPB (3)	VGCIRM (2)	COBSB (3)
3	COSM (2)	EmpinsorgB (3)	MOM (2)	DVSPB (3)	VGCIRM (2)	COBSB (3)
4	COSMA (4)	EmpinsorgB (3)	MOB (3)	DVSPMB (4)	VGCIRB (3)	COBSMB (4)
5	COSMA (4)	EmpinsorgB (3)	MOB (3)	DVSPMB (4)	VGCIRB (3)	COBSB (3)
6	COSM (2)	EmpinsorgB (3)	MOMM (1)	DVSPB (3)	VGCIRB (3)	COBSM (2)
7	COSB (1)	EmpinsorgM (2)	MOMM (1)	DVSPB (3)	VGCIRB (3)	COBSM (2)
8	COSM (2)	EmpinsorgB (3)	MOMM (1)	DVSPB (3)	VGCIRB (3)	COBSM (2)
9	COSM (2)	EmpinsorgB (3)	MOMM (1)	DVSPB (3)	VGCIRB (3)	COBSM (2)
10	COSMA (4)	EmpinsorgB (3)	MOB (3)	DVSPMM (1)	VGCIRM (2)	COBSB (3)
11	COSA (3)	EmpinsorgM (2)	MOMM (1)	DVSPMM (1)	VGCIRM (2)	COBSM (2)
12	COSM (2)	EmpinsorgM (2)	MOMM (1)	DVSPMM (1)	VGCIRM (2)	COBSM (2)

(COS= carbono orgánico del suelo [MA: muy alto, A: alto, M: medio, B: bajo], EMPINSORG= empleo de insumos orgánicos, MO= materia orgánica, DVSP= diversidad de especies, VGCIR= vegetación circundante, COBS= cobertura del suelo). (MB: muy buena, B: buena, M: mala, MM: muy mala).