



Universidad Veracruzana

Centro de Investigaciones Tropicales

Región Xalapa

Maestría en Ecología Tropical

Intlal Zacamilola: Manejo sustentable del carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales nahuas de la sierra de Zongolica, región fría de las Altas Montañas-Tlaseseya

Tesis para obtener el grado de Maestra en Ecología Tropical

**Presenta:
Laura Pamela Ruiz Ponce**

Tutora:
Dra. Rosaura Citlalli López Binnqüist

Enero de 2023

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”



Universidad Veracruzana

Centro de Investigaciones Tropicales
Región Xalapa

Maestría en Ecología Tropical

Intal Zacamilola: Manejo sustentable del carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales nahuas de la sierra de Zongolica, región fría de las Altas Montañas-Tlaseseya

Tesis para obtener el grado de Maestra en
Ecología Tropical

Presenta:
Laura Pamela Ruiz Ponce

Tutora:
Dra. Rosaura Citlalli López Binnqüist

Cotutor:
Dr. Atenógenes Leobardo Licona Vargas

Asesores:
Dra. Patricia Gerez Fernández
Dr. Noe Velázquez Rosas
Dr. Edward Alan Ellis

Agradecimientos institucionales

Este trabajo de investigación se realizó con consentimiento previo e informado del Comité Técnico Comunitario del Protocolo Biocultural de Zacamilola y bajo la supervisión de la Agente Municipal Catalina Tlaxcala Juárez a quienes agradezco profundamente su confianza, apoyo y facilidades brindadas durante mis estancias en la comunidad.

“Intlal Zacamilola: Manejo sustentable del carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales nahuas de la sierra de Zongolica, región fría de las Altas Montañas-Tlaseseya” se realizó bajo la dirección de la Dra. Citlalli López Binnqüist coordinadora del Centro de Investigaciones Tropicales y contó con la codirección del Dr. Atenógenes Leobardo Licona Vargas, profesor investigador del Departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo a quienes agradezco enormemente su apoyo, tiempo y guía incondicional. Gracias a la Dra. Patricia Gerez Fernández, al Dr. Edward Alan Ellis y al Dr. Noe Velázquez Rosas por su acompañamiento y dirección como asesores de la investigación.

Se agradece el apoyo a la Dirección General de la Unidad de Estudios de Posgrado de la Universidad Veracruzana y al programa de Posgrado en Ecología Tropical del Centro de Investigaciones Tropicales por su apoyo para realizar mis estudios de maestría, el trabajo de investigación en campo y la estancia de investigación en el Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México.

Un agradecimiento especial al Dr. Bruno M. Chavez Vergara y a la M.C. Ofelia Ivette Beltrán Paz del Laboratorio de Biogeoquímica y Materia Orgánica del Suelo, al Dr. Jaime Díaz Ortega y la Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo del Laboratorio de Paleosuelos y al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía bajo el apoyo de CONACYT, quienes orientaron y facilitaron el análisis cuantitativo de esta investigación.

Finalmente, se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo a esta investigación y otorgamiento de una beca académica a la estudiante con número de apoyo 779829.

Agradecimientos a título personal

Un agradecimiento y dedicatoria especial para Julia, Eugenia, Verónica, Roberto, Ana Gabriela, Pablo, Rosalía, José, Laura, Víctor, Marcelo, Candelaria, Cristina, Aneri, Tomás, Lety, Antonia, Marcelino y Toribio quienes fueron co-participes de esta investigación. Gracias a sus familias que nos abrieron las puertas de sus casas y compartieron su tiempo, espacio y siempre un café, un tamal, un chocolatito o un pan.

Gracias a doña Chela y doña Ceci por sus cuidados, apoyo incondicional y ánimos para continuar, gracias por las asesorías, la comida rica y las pláticas en su cálido hogar. ¡Las queremos mucho!

A Estela, Ángel y Edgar, por ser el centro que me sostiene, la fuerza que me mueve, la tierra en la que crecí, de donde vengo y a donde voy. A Uriel y Brau porque dondequiera que estemos los tres, ahí cada vez renace el hogar. Los amo profundamente. Gracias por todo.

A mi tíos y tías que los quiero un montón, en especial a la tía Bety que me acompañó a la sierra y me ayudó con tantos kilos de tierra, ¡hasta se nos ponchó la llanta!, gracias por todas las aventuras.

A las redes que nos sustentan, a quienes nos cuidan, a quienes luchan y mantienen la diversidad socioecológica, a quienes defienden territorios y cultivan la tierra.

Tlasohkamati

Índice

Preámbulo	10
Resumen	13
I. Introducción	15
II. Antecedentes	18
III. Justificación	22
IV. Preguntas de investigación.....	24
V. Objetivos.....	24
VI. Fundamento teórico	25
La ontología de la separación y la crisis ambiental	25
Los sistemas de conocimiento y el enfoque biocultural.....	26
La ciencia para la sustentabilidad y conocimiento indígena.....	26
El enfoque biocultural para la conservación y el giro ontológico.....	30
Conocimiento ecogeográfico y pedológico de las comunidades indígenas	32
Espacio, paisaje y conocimiento ecogeográfico.....	32
Etnoecología y etnopedología	34
El suelo y los sistemas agroforestales	35
La degradación del suelo en el contexto de los socio-ecosistemas.....	35
El suelo como almacén de carbono	39
Sistemas agroforestales tradicionales, conservación de suelo y captura de C.....	40
Cambio climático y propuestas desde la agricultura	49
VII. Descripción de la zona de estudio	51
Aspectos bioculturales de Zacamilola.....	51
Historia ambiental de la comunidad de Zacamilola	57
VIII. Metodología	60
Conocimiento del suelo y del paisaje en la comunidad de Zacamilola	61
Caracterización de sistemas agroforestales en las unidades de paisaje	63
IX. Resultados	74
I. Tlalli ipan Zacamilola. Suelo y paisaje en Zacamilola	74
I.2.1. Clasificación regional de tierras	83
I.2.2. Topónimos	84
I.2.3. Unidades de paisaje de Zacamilola	86
I.2.4. Clasificación local de tierras.....	88

1.2.5.	La tierra viva o la tierra cansada: categorías de materia orgánica del suelo.....	89
1.2.6.	Clasificación local de rocas.....	91
2.	Sistemas agroforestales de la comunidad.....	93
a)	Sistemas agroforestales simultáneos.....	95
	Huertos de traspatio.....	95
	Milpa en rotación con cultivos de invierno, borregos y cabras.....	99
	Milpa asociada a árboles frutales (MIAF).....	103
b)	Sistemas agroforestales secuenciales y concomitantes.....	107
	Agricultura itinerante con sucesión del bosque mixto de pino-encino y pastoreo.....	107
	Agricultura itinerante sucedida por Pinus patula o sistema Taungya.....	112
	Barbechos mejorados y agrobosques.....	116
3.	Carbono orgánico en el suelo en los sistemas agroforestales de Zacamilola.....	119
3.1.	Geomorfología y edafogénesis en Zacamilola.....	119
3.2.	Descripción edáfica de seis sistemas agroforestales en Zacamilola.....	120
3.2.1.	Sistemas agroforestales secuenciales.....	120
3.2.2.	Sistemas agroforestales concomitantes.....	134
3.2.3.	Resumen comparativo de prácticas de manejo de los SAF estudiados.....	149
X.	Discusión.....	159
XI.	Conclusión.....	177
XII.	Fuentes citadas.....	180

Lista de figuras

Capítulo VI. Fundamento teórico.

Figura 1. Procesos de degradación del suelo en el contexto de los socio-ecosistemas y servicios ecosistémicos.

Figura 2. Tipos de almacenes orgánicos e inorgánicos en el suelo.

Figura 3. Variaciones en indicadores relacionados a la erosión del suelo en sistemas agroforestales.

Figura 4. Disponibilidad de nutrientes, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico en sistemas de agricultura itinerante.

Figura 5. Modelo continuo del suelo.

Figura 6. Representación conceptual de los principales componentes de la materia orgánica

Capítulo VII. Descripción de la zona de estudio.

Figura 7. Ubicación de la comunidad de Zacamilola y colindancias.

Figura 8. Cuencas de alimentación hidrogeológica kárstica de la sierra de Zongolica.

Figura 9. Rocas calizas y lutitas en Zacamilola.

Figura 10. Bosque mixto de pino-encino de la congregación de Zacamilola.

Figura 11. Escudo de la comunidad de Zacamilola.

Figura 12. Comunidad de Aprendizaje Campesina de Zacamilola como parte del programa federal Sembrando Vida.

Capítulo VIII. Metodología

Figura 13. Metodología de la investigación.

Figura 14. Reunión con integrantes del Comité Biocultural de Zacamilola.

Figura 15. Observaciones participantes, entrevistas semiestructuradas y recorridos por el territorio.

Figura 16. Sitios de muestreo distribuidos en las unidades de paisaje campesinas.

Figura 17. Muestreo de horizontes del suelo. Identificación de horizontes, textura, estructura, y densidad aparente.

Figura 18. Esquema de parcela circular de 100m² y puntos aleatorios de muestreo de suelo, hojarasca y mantillo.

Figura 19. Determinación textural por método de la pipeta de Robinson.

Figura 20. Secado en estufa y tamizado de muestras.

Figura 21. Potenciómetro Thermo Scientific Orion Versa Star para medición de pH y conductividad eléctrica.

Figura 22. Molino mezclador RETSCH MM400.

Figura 23. Coulómetro UIC CM5017.

Figura 24. Frascos herméticos para incubaciones de suelo y de mantillo. Titulación de NaOH, BaCl₂ y fenoftaleína con HCl 0.5N.

Figura 25. Fraccionamiento físico por densidad de partículas con metatungstato de sodio.

Capítulo IX. Resultados

Figura 26. Siembra de milpa, marzo de 2021.

Figura 27. Siembra de milpa, marzo de 2022.

Figura 28. Celebración del Xochitlalilistli en Tzontikonmostok, Tequila, Veracruz.

Figura 29. Cueva de *Tzontikonmostok* y ofrenda de flores en su interior, Tequila, Veracruz.

Figura 30. *Papalotetl*, mina de balastro en Xoxocotla.

Figura 31. Antonia Xicalhua moliendo *ixtakxal* o mármol blanco.

Figura 32. *Tepoxaktetl* y banco de barro para alfarería.

Figura 33. Paisaje agroforestal de Zacamilola.

Figura 34. Disposición horizontal y vertical de los huertos de traspatio.

Figura 35. Ilustración esquemática del arreglo temporal de los huertos de traspatio.

Figura 36. Disposición horizontal y vertical de la milpa en rotación con cultivos de invierno, borregos y cabras.

Figura 37. Ilustración esquemática del arreglo temporal de las milpas en rotación con cultivos de invierno.

Figura 38. Barbecho con yunta y árboles en linderos.

Figura 39. Disposición horizontal y vertical de la milpa asociada a árboles frutales (MIAF).

Figura 40. Ilustración esquemática del arreglo temporal de la milpa asociada a árboles frutales (MIAF).

Figura 41. Disposición horizontal y vertical de la agricultura itinerante con sucesión de pino-encino.

Figura 42. Ilustración esquemática del arreglo temporal de la agricultura itinerante con sucesión del bosque mixto de pino-encino.

Figura 43. Etapas en el manejo agroforestal de la agricultura itinerante con sucesión de pino-encino.

Figura 44. Disposición horizontal y vertical del sistema Taungya.

Figura 45. Ilustración esquemática del arreglo temporal de la agricultura itinerante con sucesión del bosque mixto de pino-encino.

Figura 46. Disposición horizontal y vertical los barbechos mejorados y agrobosques.

Figura 47. Ilustración esquemática del arreglo temporal de los barbechos mejorados.

Figura 48. Muestras de suelo de perfiles con alta positividad para alófanos y baja o nula positividad para carbonatos.

Figura 49. Aguacates, duraznos, izote, haba, alcatraz y maíz intercalados.

Figura 50. Especies medicinales, ornamentales, agrícolas y pecuarias del huerto de traspatio de Víctor Tlaxcala.

Figura 51. Yunta de tracción con caballo y maíz en etapa de cosecha.

Figura 52. Frijol *lamahetl*, maíz amarillo y rojo, corralito de borregos anexo a la milpa.

Figura 53. Milpa y árboles frutales de Laura y Cristina Ixmatlahua.

Figura 54. Elaboración de hornos de carbón vegetal (noviembre 2021) y siembra de maíz (marzo 2022).

Figura 55. Diversidad de productos maderables y no maderables de siembra y recolección de la parcela de Julia Tlaxcala.

Figura 56. Plantación de *Pinus patula* antes y después del aprovechamiento forestal.

Figura 57. *Tekochtli* en su tercer año de establecimiento de milpa asociado a diversas especies forestales.

Figura 58. Tomate cimarrón, extranjero o papa de agua, maíz y pino.

Listado de tablas

Tabla 1. Zonas ecológicas regionales en la sierra de Zongolica.

Tabla 2. Rasgos geomorfológicos, uso de suelo y clases de tierras por unidades de paisaje campesinas en la comunidad de Zacamilola, Atlahuico, Veracruz.

Tabla 3. Clases de tierras locales identificadas en la comunidad de Zacamilola.

Tabla 4. Categorías de abonos orgánicos en la comunidad de Zacamilola.

Tabla 5. Especies asociadas al huerto de traspatio de Víctor Tlaxcala.

Tabla 6. Perfil de suelo del huerto de traspatio familiar de Víctor Tlaxcala.

Tabla 7. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Tabla 8. Especies forestales, agrícolas y pecuarias de la milpa familiar Ixmatlahua Tlaxcala.

Tabla 9. Descripción de horizontes del suelo de la milpa familiar Ixmatlahua Tlaxcala.

Tabla 10. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Tabla 11. Especies forestales y agrícolas del sistema MIAF de Laura Ixmatlahua.

Tabla 12. Descripción de horizontes del suelo del sistema MIAF de Laura y Cristina.

Tabla 13. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Tabla 14. Especies forestales, agrícolas y pecuarias de la parcela de Julia Tlaxcala.

Tabla 15. Descripción de horizontes del suelo del sistema agroforestal de Julia Tlaxcala.

Tabla 16. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Tabla 17. Especies forestales y agrícolas de la plantación de *Pinus patula* en sistema Taungya.

Tabla 18. Descripción de horizontes del suelo del sistema agroforestal de Toribio Tlaxcala.

Tabla 19. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Tabla 20. Especies forestales y agrícolas del agrobosque de Marcelino Tlaxcala.

Tabla 21. Descripción de horizontes del suelo del sistema agroforestal de Marcelino Tlaxcala.

Tabla 22. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Tabla 23. Principales prácticas de manejo por sistema agroforestal estudiado.

Tabla 24. Medias (\pm error estándar) de pH, conductividad eléctrica (CE), almacén de carbono (C) y almacén de nitrógeno (N) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Tabla 25. Media (\pm error estándar) de almacén de fósforo (P) y cocientes de nutrientes C:N, C:P y N:P (\pm error estándar) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Tabla 26. Medias (\pm error estándar) de conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (dap), porcentaje de carbono (%C) y almacén de carbono orgánico del suelo equivalente (COS equivalente).

Listado de gráficos

Gráfico 1. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en el huerto de traspatio familiar de Víctor Tlaxcala.

Gráfico 2. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson de la milpa familiar Ixmatlahua Tlaxcala.

Gráfico 3. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson del sistema MIAF de Laura y Cristina Ixmatlahua.

Gráfico 4. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en la agricultura itinerante.

Gráfico 5. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en sistema Taungya de Toribio Tlaxcala.

Gráfico 6. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en agrobosque de Marcelino Tlaxcala.

Gráfico 7. Media (\pm error estándar) del almacén de carbono (C) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Gráfico 8. Media (\pm error estándar) del almacén de nitrógeno (N) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Gráfico 9. Media (\pm error estándar) del almacén de fósforo (P) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Gráfico 10. Mineralización potencial ($\mu\text{gC g}^{-1}$) en el mantillo de cinco sistemas agroforestales de Zacamilola con error estándar.

Gráfico 11. Almacén de carbono orgánico equivalente del suelo (ton ha^{-1}) en seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Gráfico 12. Mineralización potencial ($\mu\text{gC g}^{-1}$) en el suelo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola con error estándar.

Gráfico 13. Distribución del contenido de COT en las fracciones de materia orgánica de las muestras de suelo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Gráfico 14. Concentración de COT en las fracciones de materia orgánica de las muestras de suelo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola.

Preámbulo

Crecí en la ciudad de México, donde hallar un poco de tierra para sembrar es un privilegio, donde pedacitos de tierra en un parque, jardín o macetas puede ser una fuente de goce y belleza inigualable. En el caminar por la preparatoria y la universidad, en tiempos de la Brigada Rural Interdisciplinaria con las comunidades otomí-tepehuas, se abrió ante mis ojos un mundo campesino de culturas de la tierra; maestras y maestros de vida y de otras aproximaciones hacia el suelo y la tierra, como conceptos de múltiples significados.

Estudié Agroecología en mi *alma mater*, la Universidad Autónoma Chapingo, que, desde un enfoque holístico y un posicionamiento crítico, motivó el respeto, admiración y conocimiento hacia los saberes-haceres de agricultoras y agricultores y su impacto a nivel ecosistémico. Remando hasta las chinampas de Xochimilico y San Gregorio, donde trabajé por más de cuatro años, me asombré de aquellos suelos ancestrales, profundos y oscuros que, en medio de la ciudad de México, son trabajados y protegidos por chinamperas y chinamperos del cambio de uso de suelo y salinización. Se trata de sistemas agroforestales que han echado raíz sobre Histosoles o suelos de abundante materia orgánica de origen lacustre, y también llamados Antroposoles porque fueron coadyuvados por la mano de hombres y mujeres en su formación.

Un poco después, tuve la oportunidad de conocer y trabajar con las comunidades del municipio de Tuxtla Chico en Chiapas, y en Jalpan, Puebla, co-creadoras de sistemas agroforestales de cacao y café, que se acoplan con el bosque sobre Acrisoles y Regosoles o suelos ácidos y delgados caracterizados como poco fértiles. En cada sitio encontré creatividad, voluntad y plena conciencia para reproducir la vida cuidando la tierra, pese a las adversidades enmarcadas en cambios globales y crisis ambientales, sociales, políticas y de salud que enfrentamos hoy en día y que amenazan las formas de vida campesinas.

En estos tiempos de pandemia y crisis climática, hemos aprendido que lo social, lo económico, lo político, el suelo, los microorganismos, las plantas, las personas y todos los seres de este planeta, nos encontramos en interacción e interrelación constante; todo sucediendo a la vez dentro del gran ecosistema al que pertenecemos. Este encadenamiento de hechos y sucesos nos convoca a repensarnos y sentirnos, re-investigarnos, y reactivarnos

para encausar otras formas de relacionarnos con nosotros mismos y con todo lo demás que nos hace parte. Reflexión de la que tuve oportunidad de profundizar durante la maestría, impulsada desde el paradigma de la bioculturalidad que abraza el Centro de Investigaciones Tropicales y fertilizada por el paradigma de la interculturalidad y las aperturas ontoepistémicas que la Maestría en Educación para la Interculturalidad y Sustentabilidad acciona. Un par de años antes de ingresar al posgrado, llegué a Veracruz, ahora mi segunda tierra y a la que le tengo gran cariño, en la que Uriel y yo sembramos una semillita coatepecana. Cuerpo y mente experimentaron la evolución hacia el maternar como experiencia transversal a todos los ámbitos de mi vida. Esta evolución me llevó a reaprender y comprender desde otra mirada, la vida campesina y en concreto el de las mujeres campesinas, sus prácticas de cuidado y la crianza humana y no humana, como estrategia de supervivencia, pero también práctica amorosa y revolucionaria de reproducción de la vida; comprendí su amor al terruño, en el extrañar el mío, pero también reencontré ese amor a la tierra, que también es madre.

El tema de mi investigación no podría ser otro que, en torno a la tierra, con aquellas y aquellos que a través de su actuar dan continuidad a los entramados de la vida. Entonces, Citlalli, quien lleva años aprendiendo y andando en la sierra, me llevó a Zongolica.

El suelo y sus horizontes son capaces de hablarnos de su historia pasada y presente, guardan en ellos los misterios que han sostenido y sostienen la vida de todos los organismos que habitan en su interfase y sobre la tierra. Los datos cuantitativos y cualitativos que obtuvimos de su estudio son resultado de una forma de relación con la tierra (la de ellos y ellas que la vivencian y que la trabajan) y también de nuestra propia relación con él (el suelo desde la investigación científica), por lo que esta investigación no aspira a una objetividad universal, que logre validar otros conocimientos, sino a una multiplicidad de subjetividades que permitan la interacción y diálogo entre conocimientos.

Intlal Zacamilola: Manejo sustentable del carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales nahuas de la sierra de Zongolica, región fría de las Altas Montañas-Tlaseseya, comenzó siendo una indagación sobre las propias formas nahuas, de nombrar al suelo y al paisaje. Fue tomando forma en el andar en la sierra y en el discursar de la maestría y se afirmó en su parte más científico-técnica para analizar las contribuciones de seis sistemas agroforestales de la comunidad de Zacamilola al almacén de carbono orgánico del suelo. En

el escribir y dialogar individual y colectivo acabó siendo también una reflexión sobre las filosofías de vida campesinas, su relación íntima con la tierra y su importancia en el marco de la degradación del suelo y el cambio climático.

Cuando nos referimos al carbono en el contexto del cambio climático, frecuentemente pensamos en las economías verdes o economías de carbono reducido, carbono cero, etc., en las que el carbono es monetarizado y, como dice Vandana Shiva, reducido a su estado fósil y en subsuelo o en su estado gaseoso en la atmósfera. Es en realidad la otra economía del carbono, de la que dependen en mayor medida los pueblos y comunidades rurales, sobre la que hago énfasis en esta investigación. Estamos hablando del carbono vivo y renovable, del carbono que se encuentra en la biomasa vegetal, en la materia orgánica del suelo, en los frutos de la tierra, en nuestros propios cuerpos vivos y a la que regresar significaría una apuesta frontal a la crisis climática. Por ello la importancia de estudiar los ciclos de carbono orgánico en los sistemas agroforestales que brindan gran variedad de bienes en un ciclaje y balance distinto al de los sistemas agroalimentarios configurados por la Revolución Verde.

Cierro este preámbulo mencionando que la escritura de la tesis resultó ser un cruce, si bien no siempre atinado, entre idiomas, disciplinas, conceptos y significados que ha sembrado en mí nuevos horizontes conceptuales. Fueron un gran reto y espero que un buen fruto para todas y todos mis maestros en la educación formal de la maestría, como aprendiz de náhuatl III en la Escuela de Estudiantes Extranjeros de la Universidad Veracruzana y de todas aquellas y aquellos maestros de la sierra que han tenido la paciencia de enseñarme. Al fin y al cabo, un gran cruce transdisciplinario e intercultural del que de por sí somos parte al existir en un mundo tan diverso. ¡Un pluriverso! Espero que sus resultados puedan ser un puente de diálogo, reflexión y que sea de utilidad a quienes participaron de la investigación.

Resumen

La sierra de Zongolica es un mosaico ecológico y sociocultural que se caracteriza por su sustrato kárstico, relieve accidentado, clima intertropical y suelos susceptibles a la degradación. Es hogar de comunidades nahuahablantes quienes en su actuar cotidiano sustentan procesos complejos humano-ambiente como el manejo de la pendiente, la gestión de recursos múltiples a través de sistemas agroforestales, y la construcción de horizontes orgánicos para el mejoramiento del suelo. Desde una episteme propia, han generado categorías del espacio a distintas escalas en el territorio y clasificaciones locales de tierras que les ayudan a identificar ventajas y limitantes ambientales, mejorar los suelos y diseñar estrategias para su uso y manejo sustentable.

En el marco del cambio climático, las personas y conocimientos que sustentan el manejo sustentable del suelo adquieren gran relevancia, pues un suelo degradado y descarbonizado ha perdido su función como almacén de carbono orgánico, función ecosistémica que tiene un impacto directo en el cambio climático y la seguridad y soberanía alimentaria.

Esta investigación parte de los valores, sentires y pensares que sustentan saberes y conocimientos sobre el manejo sustentable del suelo y su impacto en el almacén de carbono orgánico o *tlahsolli* en los sistemas agroforestales de Zacamilola, Atlahuilco, Veracruz, comunidad que forma parte de la sierra de Zongolica. Se diseñó una metodología mixta e interdisciplinaria para comprender: a) la concepción nahua de *tlalli* y la aproximación al conocimiento local del suelo y el paisaje, b) la caracterización y clasificación de los sistemas agroforestales de Zacamilola y c) la cuantificación del aporte de estos sistemas al almacén de carbono orgánico del suelo. Se recopilaron las narrativas locales en torno a la tierra y se documentó la ceremonia de *xochitlalilistli* como expresión tangible de la relación con ella, se encontraron dos clases regionales de tierras, seis unidades de paisaje campesinas a nivel local y cinco clases locales de tierras. Se caracterizaron y clasificaron los sistemas agroforestales de la comunidad, los cuales se dividieron por su temporalidad en secuenciales (agricultura itinerante, agrobosque y sistema Taungya con *Pinus patula*) y concomitantes (milpa con cultivos de invierno, borregos y cabras, huerto de traspatio y milpa y árboles frutales (MIAF). En ellos se describió los perfiles edáficos y cuantificó nutrientes y

almacenes de carbono orgánico en el suelo (COS) y mantillo, la tasa de mineralización y las fracciones orgánicas del horizonte superficial. Se encontró que prácticas de manejo como la labranza, la quema, el barbecho o descanso agrícola, la elaboración artesanal de carbón vegetal, la construcción de terrazas y el abonado impactan en la cantidad y calidad de materia orgánica en el suelo, así como su grado de protección ante la degradación. Los sistemas secuenciales presentaron mayores aportes de biomasa en forma de mantillo y mayores almacenes de carbono orgánico en el suelo (agrobosques 210.73 ton/ha⁻¹, taungya 167 ton ha⁻¹ y agricultura itinerante 166 ton ha⁻¹). En la milpa se encontraron mayores porciones de materia orgánica particulada y libre con mayores tasas de mineralización en el mantillo. Se concluyó que el conocimiento local del suelo y el paisaje en Zacamilola es amplio y diverso, y que las prácticas de manejo en sistemas agroforestales tradicionales están adaptadas a las condiciones geomorfológicas y edáficas lo que promueven el manejo sustentable del suelo, coproducción entre sociedad, cultura y naturaleza de importantes contribuciones para las personas.

I. Introducción

La sierra de Zongolica, hogar de comunidades nahuahablantes, forma parte de una de las principales cadenas montañosas tropicales y subtropicales de México: la Sierra Madre Oriental, cuya condición orográfica y precipitación genera un amplio mosaico ecológico y sociocultural (Boege, 1991; Alatorre *et al.*, 2011).

Como en otras cadenas montañosas, la susceptibilidad a la degradación del suelo se ve intensificada por su clima intertropical y su condición geológica kárstica altamente soluble, lo cual genera una topografía de fuertes pendientes (Semarnat-CP, 2003; CONAFOR-UACH, 2013). Los suelos en estos ecosistemas, comúnmente considerados como frágiles, han demostrado ser resilientes productivamente debido a su capacidad de recuperación ante disturbios severos (Sánchez, 2019). En ellos las comunidades indígenas han dado pie a sistemas agroforestales altamente diversificados, concomitantes y secuenciales que, entre el balance y el riesgo, logran satisfacer necesidades locales de alimentación, vestido, curación, construcción y combustibles (FAO, 2015; Martínez-Barrientos, 2017; López-Binnsquíst *et al.*, 2017, Rosset y Altieri, 2018; Barrera-Bassols y Floriani, 2018).

En su actuar cotidiano, las comunidades de la sierra sustentan procesos complejos humano-ambiente como el manejo de la pendiente, la gestión de recursos múltiples, la protección de hábitats y la construcción de horizontes orgánicos para el mejoramiento del suelo (Bocco y Winklerprins, 2015). Esta interacción directa con procesos ecológicos, geomorfológicos y edafológicos es fruto de una memoria-conocimiento-experiencia colectiva que ha sido generada en las diferentes etapas de la vida y en relación con el cosmos, la naturaleza, consigo mismo y con el mundo (Mavisoy-Muchavisoy, 2018).

Desde una episteme propia, han generado categorías del espacio que les permiten nombrar, significar y clasificar lugares a través de topónimos y unidades de paisaje a diferentes escalas en el territorio en función del clima, la altitud, la geoforma principal, el suelo, la cubierta vegetal y las dinámicas históricas de la comunidad (Ortiz-Solorio y Gutiérrez-Castorena, 2001; WinklerPrins y Barrera-Bassols, 2003; Pulido y Bocco, 2016). En relación directa con la morfología y génesis del suelo, se han generado clasificaciones locales de tierras que ayudan a identificar ventajas y limitantes ambientales de los suelos, mejorarlos y diseñar

estrategias para su uso y manejo (Oudwater y Martin, 2003; Paytona *et al.*, 2003; Barrera-Bassols y Zinck, 2003; Licona-Vargas *et al.*, 2006).

El uso sustentable del suelo en ecosistemas serranos es entonces, una co-producción entre sociedad, cultura y natura de importantes contribuciones hacia las personas, que permite el mantenimiento de funciones ecosistémicas fundamentales para la vida, como el abastecimiento de agua a nivel macroregional, la seguridad alimentaria y la regulación climática (FAO, 2015; IPBES, 2020; Lal, 2015; Targulian *et al.*, 2019). Estas últimas funciones han tomado gran relevancia en el marco del cambio climático, pues un suelo degradado pierde en gran medida su función como almacén y receptor de carbono orgánico, convirtiéndose en fuente neta de gases de efecto invernadero. Los suelos que se han descarbonizado pierden su potencial de fertilidad y soporte de biomasa vegetal de importancia ecosistémica y para la seguridad y autosuficiencia alimentaria (Lal, 2015; Paustian *et al.*, 2019; Leno, 2020).

En este contexto, a nivel global, al año se pierden 12 millones de hectáreas de suelo por degradación, lo cual causa la emisión de 1.1 Pg de carbono (Pg=petagramo= 10^{15} g= 1,000,000,000 toneladas) a la atmósfera y entre 0.3 y 0.8 Pg C al océano por el arrastre de partículas (FAO, 2015; Wani *et al.*, 2017). En México, los suelos degradados por factores antropogénicos se encuentran en más de la mitad del territorio y es la degradación química el principal proceso que provoca la declinación de la fertilidad (Semarnat-CP, 2003; CONAFOR-UACH, 2013).

La salud del suelo y con ello su papel como almacén de carbono orgánico se pone en riesgo ante las desigualdades estructurales que generan inestabilidad de los modos de vida serranos e interfieren con la transmisión de conocimientos en torno a su cuidado y manejo. En la sierra de Zongolica la migración, el minifundismo y la sucesiva división de la tierra por herencia, el cambio de uso de suelo, la intensificación agrícola y forestal, los incendios forestales y las expectativas moderno-coloniales de desarrollo, han generado profundas modificaciones en la dinámica de sus socioecosistemas (Hidalgo-Ledesma, 2016; López-Binnqüist *et al.*, 2017; López-Binnqüist *et al.*, 2020).

Por otro lado, el conocimiento ecológico tradicional, sus prácticas de manejo, conceptos y epistemología, son parcialmente reconocidos por la ley mexicana. Al coexistir con

conocimientos técnicos y científicos son algunas veces integrados, otras veces adaptados y muchas otras ignorados, pese a su uso cotidiano en las comunidades. Con frecuencia, este conocimiento entra en conflicto y/o confrontación con políticas y proyectos encaminados al desarrollo rural, lo que imposibilita generar sinergias, que su pleno reconocimiento e impulso podría tener en la conservación de los bienes naturales (Sierra-Huelsz *et al.*, 2020; Tengö, 2017).

Las relaciones que se establecen con el suelo y el conocimiento ecológico tradicional serrano sustentan sistemas agroforestales y prácticas de manejo adecuadas, que pueden ser puntos de partida para el diseño, implementación y monitoreo de las intervenciones en materia de restauración ecológica de los suelos (Paytona *et al.*, 2003; Albaladejo, 2021). A su vez, pueden ser la base de estrategias que promuevan el carácter receptor y de almacén de carbono orgánico a largo plazo en la interfase del suelo de los sistemas agroforestales de montaña de la zona intertropical (Tebtebba Foundation, 2012; FAO, 2017; Singh, 2018).

El reconocimiento y fortalecimiento de las formas de vida serranas por su uso sustentable de los bienes naturales y en específico del carbono orgánico, pueden ayudar a fortalecer los sistemas tradicionales de gobernanza ambiental y generar una discusión y análisis crítico en torno a los marcos conceptuales, valores, prácticas y tecnologías en materia de mitigación y reducción de gases de efecto invernadero que institucionalmente son impulsadas.

En este sentido esta investigación parte de los valores, sentires y pensares que sustentan saberes y conocimientos sobre el manejo sustentable del suelo y su impacto en el almacén de carbono orgánico o *tlahsolli* en los sistemas agroforestales de Zacamilola. A continuación, se presentan los antecedentes, la justificación, las preguntas, objetivos de investigación y el marco teórico que dieron pie a la metodología mixta e interdisciplinaria diseñada para comprender la interrelación entre las formas de vida serranas y la conservación de las funciones ecosistémicas del suelo para la vida. El capítulo de resultados se desglosa en los tres pilares que fundamentaron la comprensión de ésta interrelación: a) la concepción nahua de *tlalli* y la aproximación al conocimiento local del suelo y el paisaje, b) la caracterización y clasificación de los sistemas agroforestales de Zacamilola y c) la cuantificación del aporte de estos sistemas al almacén de carbono orgánico del suelo. Finalmente, en el apartado de discusión y conclusión se presenta la integración y relación de estos tres pilares.

II. Antecedentes

Las comunidades de la sierra de Zongolica se insertan en la región natural de las Altas Montañas de Veracruz, región de gran importancia para el estado por el abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales y urbanas, la producción de alimentos y su belleza paisajística (Agüero y Tepetla, 2013). El río Blanco y el río Tonto nacen en las faldas del Pico de Orizaba y la sierra de Zongolica, y son los principales tributarios de la cuenca hidrológica del Papaloapan, una de las más importantes del país por su caudal (Pereyra *et al.*, 2010). Desde mediados del siglo XIX la región ha estado sujeta a una fuerte inversión industrial, a la urbanización, la ganadería y la agricultura intensiva, lo que ha desencadenado la transformación del paisaje y conflictos con comunidades locales por la escasez de agua, contaminación doméstica, industrial y agroindustrial de sus ríos, construcción de presas, hidroeléctricas y entubamiento de caudales (Agüero y Tepetla, 2013).

La sierra de Zongolica se conforma de un sustrato geológico de rocas calizas, predominantemente kárstico, caracterizado por la formación de montañas escarpadas, valles profundos, depresiones cerradas, cavernas y nacimientos de agua (INEGI, 2017). Los suelos en el área procedentes de materiales parentales ácidos son Acrisoles, Luvisoles y Regosoles, caracterizados por su alto nivel de lavado y lixiviación, coloración roja, parda o amarilla, texturas finas y escaso contenido en materia orgánica, altamente susceptibles a la degradación (INEGI, 2017; Semarnat, 2012). La fertilidad de los suelos está condicionada por su profundidad y pedregosidad, comúnmente encontrando suelos delgados en zonas de ladera acompañados por afloramientos rocosos (Martínez-Canales, 2012).

Los procesos degradativos del suelo han sido documentados en la zona a partir de mediados del siglo XVIII con los cambios de uso de suelo que impulsaron las reformas Borbónicas al promover el establecimiento de plantaciones de tabaco en terrenos recién abiertos a la siembra y en pendiente para evitar inundaciones. En los informes redactados por la Real Renta de Tabaco han quedado plasmadas referencias del decrecimiento progresivo de la cosecha y la necesidad de invertir en insumos para mantener la producción (Morales-Vásquez, 2018). Se sabe también que la Comisión de la Cuenca del Papaloapan en los años cuarenta realizó siembras de magueyes en grandes extensiones en la región de las Altas

Montañas para contrarrestar la erosión del suelo y que a partir de 1970 los procesos erosivos se agravaron por la tala inmoderada de los bosques de municipios de Tehuipango, Tlalquilpa y Astacinga (Martínez-Canales, 2012).

En 1983, durante una expedición espeleomorfológica para el estudio de la hidrogeomorfología en la sierra de Zongolica, se observaron depósitos subterráneos producto de la erosión del suelo y su transporte a cuevas y al karst profundo, lo que favoreció un llenado progresivo de los conductos subterráneos que perturbaba las corrientes kársticas y provocaba inundaciones (Delannoy, 1983). Delannoy (1983) concluye, a través del análisis fino de los depósitos subterráneos, que los procesos erosivos fueron provocados por las transformaciones socio-agrícolas en la sierra.

Los factores económicos, sociales y políticos que impulsaron los cambios de uso de suelo en la sierra han sido ampliamente documentados (Martínez-Canales, 2012, Hidalgo-Ledesma, 2016; López-Binnqüist et al., 2017). La actual configuración del paisaje de la sierra ha sido influida por la introducción de cultivos comerciales y ganado mayor, la reforma agraria del Art. 27 constitucional en 1992 que promovió el minifundismo en la zona, políticas extractivistas de rentismo para aprovechamiento forestal, vedas de aprovechamiento, tala ilegal de bosques y recientemente programas de reforestación y asistencia técnica agrícola y forestal (Sierra-Hueslsz et al., 2020). Cambios en el paisaje que desencadenaron acuerdos, tensiones y conflictos históricos entre los diversos actores involucrados y las comunidades nahuas que habitan la sierra desde tiempos prehispánicos (Hidalgo-Ledesma, 2016).

Las y los nahuas han dado lugar al reconocimiento de dos grandes territorios en la sierra: la zona fría y la zona caliente, correspondientes a identidades basadas en aspectos físicos y geográficos del terreno, actividades económico-productivas y símbolos culturales a los cuales se auto-adscriben. Ellas y ellos habitan y trabajan en el *monte* o *kuahwyo*, lugar material e intangible, parte de la vida familiar y organizacional de los pueblos, donde también habitan los dueños intangibles del territorio (Hidalgo-Ledesma, 2016).

Entre las variadas formas de apropiación que las comunidades nahuas han generado de los *montes*, se encuentran las milpas, los huertos de traspatio, pastizales y sistemas agroforestales que generan multiplicidad de bienes. Se trata de un mosaico diversificado en la que los campesinos aprovechan las diversas oportunidades espaciales y temporales que dan sitio a

una gran diversidad de plantas y variedades que prosperan en diferentes tipos de suelo, microclimas y en distintas etapas de sucesión (Ellis, 1998 cit. por López-Binnqüist *et al.*, 2017).

La milpa de roza tumba y quema, junto con la milpa de arado es uno de los sistemas tradicionales representativos por su contribución a la alimentación y por su importancia simbólica y ritual. Este agroecosistema ha presentado cambios debido a la sucesiva división de la propiedad de padres a hijos, la intensificación a través del uso de fertilizantes de síntesis química y el acortamiento del periodo de descanso que precede al barbecho (López-Binnqüist *et al.*, 2017). A su vez, en las últimas décadas la actividad forestal comercial ha incrementado su área cultivada como resultado del interés de los habitantes por recuperar el manejo del bosque; por la influencia de las organizaciones locales en la búsqueda de alternativas económicas y por la promoción de reforestación y plantaciones maderables por programas gubernamentales. El interés particular de las y los campesinos en la introducción de especies forestales surge con la toma de conciencia de la importancia de mantener la cobertura vegetal para controlar la erosión y conservar los recursos hídricos, a la vez que se obtienen diferentes usos de los árboles como leña, carbón y materiales de construcción (Hidalgo-Ledesma, 2016; López-Binnqüist *et al.*, 2017).

Por otro lado, actualmente muchas y muchos jóvenes de la comunidad de Zacamilola han recibido formación universitaria por parte de instituciones como la Universidad Veracruzana Intercultural y el Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, convirtiéndose en motores de innovaciones tecnológicas y prácticas de manejo agrícolas y forestales en sus comunidades, así como en impulsores de la revaloración de los conocimientos locales como punto de partida para el buen vivir y el aprovechamiento sustentable de sus bienes naturales. En torno al conocimiento local sobre el suelo y alternativas de manejo sustentable Tezoco-Zepahua y Tlaxcala-Tlaxcala (2011), egresados de la Universidad Veracruzana Intercultural, realizaron una investigación en los municipios de Tequila y Atlahuico, sistematizando la clasificación local de tierras en: *tlale kostik*, *tlale tiliwik*, *tlalpoxawak* y *tlalmorado*, describiendo sus perfiles. Así mismo, reportaron clasificaciones texturales como *tlalsokitl* y *polvillo* y la denominación local de rocas lutitas como *tepoxaktel*. En su tesis revaloran este conocimiento

local del suelo y proponen estrategias como la producción de abonos orgánicos para el uso sustentable de los suelos en la región.

Con base en lo anterior, es posible inferir que la degradación del suelo en la sierra o su uso sustentable es un proceso complejo y dinámico, influido por principios, valores, sentires y pensares de quienes vivencian el territorio zongoliqueño; por sus actividades económicas, por programas y proyectos políticos en turno, estrategias comerciales impulsadas y alternativas de diversificación productiva.

III. Justificación

Los pueblos indígenas poseen y gestionan al menos una cuarta parte de las tierras del planeta, estas zonas, pese a que son las más conservadas, están sometidas a una presión cada vez mayor. Por su gran dependencia en la naturaleza, los pueblos indígenas serán los principales afectados por las repercusiones del cambio climático y la degradación de los recursos al poner en riesgo la gestión tradicional, la transmisión de conocimientos, la posibilidad de compartir los beneficios derivados del uso de la diversidad biológica, y la capacidad de gestión sostenible de sus comunidades (IPBES, 2019).

Por lo anterior, cada vez es más necesario el involucramiento con las comunidades indígenas, para revitalizar los sistemas de gestión conjunta, locales y regionales que hagan frente de forma proactiva a los múltiples desafíos del cambio climático y la degradación (IPBES, 2019). En este contexto, esta investigación propone aportar un granito de arena para generar más sinergias entre las disciplinas de la ciencia y entre los diversos sistemas de conocimiento. Este trabajo busca un acercamiento a los conocimientos, ideas, valores y principios de la comunidad de Zacamilola que están relacionados con la gestión del suelo y su conservación o degradación. A su vez, pretende conocer el estado actual de los sistemas agroforestales y del suelo en su calidad de almacenes de carbono, una función ecosistémica que ha sido vulnerada por cambios a nivel local y global.

En ese sentido la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES por sus siglas en inglés) en 2019 y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) en 2020 estimaron que las soluciones basadas en el uso de suelo y en la naturaleza custodiada por las comunidades indígenas y locales serán responsable del 37% de la mitigación del cambio climático hasta 2030.

Por su parte la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el marco del cambio climático y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, reconoce que nueve décimas partes del potencial mundial de mitigación de la agricultura están vinculadas, no a la reducción de gases de efecto invernadero agrícolas, sino a la gestión de las reservas de carbono de la tierra (FAO, 2019). Al respecto se ha estimado que para 2030

el potencial global de mitigación para la agricultura será de 5.5-6.0 Pg de carbono equivalente por año, del cual el 89% proviene de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono del suelo (CO₂), el 9% de la mitigación de metano del suelo de humedales y del estiércol del ganado (CH₄) y finalmente el 2% de la mitigación de las emisiones de óxido nitroso de los suelos (N₂O) (Sánchez, 2019).

Mas allá de la mitigación y gestión necesarias, impulsadas desde los marcos tecnológicos, vale la pena analizar el cambio climático fuera de los marcos convencionales para su estudio. Si reconocemos este suceso como acontecimiento imprevisto, del mismo tipo que la aparición de la vida en el planeta, se trata de un fenómeno impensable y ontológicamente no encuadrable (Campbell *et al.*, 2019). Esto significa que, difícilmente podemos resolverlo fundamentalmente con las mismas categorías modernas que lo crearon: crecimiento, progreso, desarrollo, racionalidad, individualidad, tecnología y economía (Akomelafe, 2019; Escobar, 2021).

En este cuestionamiento, las ontologías de la relacionalidad de los pueblos indígenas, sus valores y prácticas hacia la naturaleza son referentes de otros marcos para abordar la crisis medio ambiental. La relación íntima y relacional de estos pueblos con la naturaleza les ha permitido generar conocimientos ecológicos tradicionales y estrategias adaptativas que permiten fortalecer su resiliencia ante el cambio climático tales como cambios en las reglas comunales de manejo, ajustes en los propios calendarios agrícolas y percepción del tiempo, observaciones y seguimiento a patrones climáticos y a cambios vinculados y codificados en el entorno (Organización Internacional del Trabajo, 2019).

En el abandono del desarrollo y progreso, y del hombre como categoría universal, es posible abrazar la diferencia radical como principio de la diversidad ecosistémica y planetaria, lo que abre una puerta de posibilidades infinitas para hacer frente al cambio climático (Akomelafe, 2019; Escobar, 2021).

IV. Preguntas de investigación

1. ¿En qué valores, sentires y pensares se basa el manejo del carbono orgánico del suelo o *tlahsoll* en los sistemas agroforestales de Zacamilola?
2. ¿Qué categorías y clasificaciones locales se utilizan para nombrar el espacio geográfico, geomorfológico y edafológico en la comunidad de Zacamilola?
3. ¿Cuáles son los principios detrás del reciclaje de carbono orgánico en los sistemas agroforestales estudiados y cómo se expresa en el almacén de carbono orgánico del suelo?

V. Objetivos

Objetivo general

Reconocer los saberes y conocimientos campesinos sobre el suelo y el paisaje que subyacen a las prácticas de manejo de los sistemas agroforestales de Zacamilola, Veracruz y estimar su contribución al almacén de carbono orgánico en el suelo.

Objetivos específicos

1. Identificar clases de tierra y unidades campesinas de paisaje, sus criterios de clasificación, oportunidades y limitantes de acuerdo con el conocimiento local de las familias de Zacamilola, Veracruz.
2. Identificar los tipos de sistemas agroforestales desarrollados en función de las diferentes unidades campesinas de paisaje en Zacamilola.
3. Cuantificar el almacén de carbono orgánico del suelo de los sistemas agroforestales por unidad campesina de paisaje de la comunidad de Zacamilola.

VI. Fundamento teórico

La ontología de la separación y la crisis ambiental

La epistemología ambiental ha insistido en que la crisis ambiental es una crisis ontológica, una consecuencia de la forma en cómo entendemos nuestro ser y la relación con el resto de los seres que se deriva de esa misma concepción. Es fundamentalmente, una comprensión en la que la verdad lógica es la única forma válida de conocimiento sobre un mundo objetivo que tiene sus bases en la tradición racionalista y que se consolidó en la modernidad con el positivismo cartesiano (Varela, 1991; Giraldo y Toro, 2020).

Gracias a las capacidades cognitivas y racionales de los seres humanos, esta filosofía nos ubica en la escala más alta de las manifestaciones del ser, superior al resto de organismos, objetos y recursos a nuestra disposición. Dicho paradigma designó a la ciencia como ontología superior para investigar la realidad sobre premisas dualistas separadas: el sujeto del objeto, la mente de la materia, el cuerpo del alma, la cultura de la naturaleza, la razón de los afectos, lo civilizado de lo primitivo, lo masculino de lo femenino y lo secular de lo sagrado (Plumwood, 2003 cit. por Giraldo y Toro, 2020; Escobar, 2013; Akomelafe, 2019). El problema en sí mismo no es que existan dualismos, sino que en la modernidad la primera parte de los dualismos—el sujeto, la mente, la cultura, la razón, lo civilizado, lo masculino, lo secular— se separa y se sitúa en una posición de superioridad frente a la parte subordinada del binarismo. La separación y subordinación de aquello que está profundamente interconectado es la raíz de la violencia, primero en la mente y luego en nuestras vidas cotidianas (Shiva, 2008; Escobar, 2013; Giraldo y Toro, 2020).

La crisis ambiental, surge entonces como síntoma de la concepción de nuestro ser separado de la naturaleza y se refuerza a partir de la lógica mecanicista y economicista que objetiva la naturaleza considerándola un capital natural (Brand y Wissen, 2012). Ante el panorama de devastación medio ambiental y los fracasos de la gestión global e institucional, surge un llamado para proponer salidas ontológicas, epistémicas y éticas relacionales desde el pensamiento ambiental (Naess, 2007; Spinoza, 2011; Giraldo y Toro, 2020).

Desde los quiebres de la ciencia y las interdisciplinas, surgen con mayor frecuencia marcos y conceptos contingentes, fluidos y emergentes que desdibujan los supuestos límites entre estos dualismos (Akomelafe, 2019). Holobionte, de la bióloga Lynn Margulis (1990), reformula al ser humano como especie intradependiente; el “efecto del observador”, desde la física cuántica, pone en cuestión la relación objetiva asentada en la dicotomía sujeto-objeto (Barad, 2007), términos como socio-ecosistema (Berkes, *et al.*, 2001), agroecosistema (Altieri, 1997; Gliessman, 1998) y bioculturalidad (Boege, 2008) proponen suturar la escisión cultura-naturaleza de las disciplinas ecológicas.

Sin embargo, la ciencia no ha sido la única en proponer encuadres alternativos, el entendimiento holístico del mundo se ha sostenido desde mucho antes por culturas y pueblos originarios de todo el mundo, quienes lo entienden como ensambles provisionales, multitudinarios y rizomáticamente diseminados (Akomelafe, 2019). Desde las ontologías relacionales del Sur global han surgido paradigmas como el “buen vivir”, el “vivir bonito” o el “vivir bien” que retoman y reinventan estos postulados ancestrales en contraposición al desarrollo y progreso de la modernidad (Gudynas, 2014).

Los sistemas de conocimiento y el enfoque biocultural

La ciencia para la sustentabilidad y conocimiento indígena

La ciencia para la sustentabilidad es un paradigma en construcción que surge en respuesta al reconocimiento de las limitaciones que enfrentan los enfoques científicos y tecnológicos convencionales contemporáneos para entender y atender la crisis ambiental global. Este paradigma propone comprender los procesos de interacción entre naturaleza y sociedad, bajo una visión integrada de procesos socioecológicos mutuamente influyentes, partiendo de su estudio individual como sistemas complejos y transitando a la comprensión de sus influencias recíprocas (Casas *et al.*, 2017). Metodológicamente impulsa el desarrollo de estrategias de investigación multidisciplinar, interdisciplinar y transdisciplinar para entender las diferentes aristas de los problemas en común y la disposición a considerar de manera horizontal los

conocimientos, saberes y experiencias interdisciplinarias y multisectoriales de los problemas ambientales (Casas *et al.*, 2017).

Esta aproximación es importante si comprendemos que el uso y manejo de los recursos naturales y su mantenimiento o deterioro se ve influenciado por los usuarios directos e indirectos de estos recursos, quienes están insertos en un sistema de reglas y procedimientos determinados por sistemas de gobernanza enmarcados en el contexto de los sistemas ecológicos relacionados y en entornos sociopolíticos y económicos más amplios (McGinnis y Ostrom, 2014)

Esta investigación parte de la premisa que el manejo sustentable y la gobernanza de los ecosistemas de los que dependemos sólo puede lograrse tomando en cuenta puntos de vista, información, métodos, teoría y práctica de los múltiples sistemas de conocimiento. Si partimos de que los sistemas de conocimiento científico, local e indígena generan diferentes manifestaciones de conocimiento legítimas, válidas y útiles, será posible tejer complementariedades que generen nueva evidencia sobre el manejo de recursos para mejorar la capacidad de interpretación de las condiciones, cambios, respuestas y relaciones causales en la dinámica de los socio-ecosistemas (Tengö, 2014; Gavin *et al.*, 2015, Vallarde y Olivé, 2015; Rist, 2016; Tengö, 2017; IPBES, 2019; Hill, 2020).

Es importante diferenciar entre las diversas formas de interacción que se han generado entre los distintos sistemas de conocimiento: a) *integración*: iniciativas que intentan incorporar componentes de un sistema en el otro, a través de procesos de validación del conocimiento local o tradicional; b) *enfoque paralelo que enfatiza complementariedades*: sostiene que cada sistema es legítimo en su propio contexto por lo que ambos tipos de conocimiento pueden ser perseguidos de forma separada pero en paralelo, enriqueciéndose el uno al otro; c) *co-producción*: conlleva involucrarse en procesos mutuos de generación de conocimiento en todas las etapas de generación, la co-producción es parte de muchos casos de co-manejo y de monitoreo participativo de recursos naturales (Tengö, 2014).

Analizando estas diferencias, la co-producción es un ideal a ser alcanzado en las interacciones relacionadas con otros sistemas de conocimiento, particularmente el indígena. Las iniciativas de co-producción requieren tiempo para generar confianza y esfuerzo para la construcción de sinergias, identificación de diferencias, generación de visiones comunes y

por último la co-producción de prácticas y conocimiento gestados en una asociación respetuosa que refleje los intereses de todas las partes y apoye resultados mutuamente beneficiosos (Hill, 2020).

Los movimientos para la valorización de conocimientos no científicos tienen sus raíces en las últimas décadas del siglo pasado, las epistemologías del sur emergen como paradigma alternativo a la universalidad del conocimiento, avanzando en las siguientes premisas:

1) La comprensión del mundo es mucho más amplia que la comprensión occidental del mundo, esto es, que la transformación del mundo puede también ocurrir por vías, modos, métodos impensables para la tradición occidental eurocéntrica; 2) que la diversidad del mundo es infinita, es decir, que existen diferentes modos legítimos de generar, acceder, distribuir, aprovechar los conocimientos; y 3) que es tan grande la diversidad del mundo, que puede ser y debe ser activada, así como transformada teóricamente y prácticamente de muchas maneras, esto es, que se deben buscar formas plurales de conocimiento que superen los universalismos y los absolutismos (Santos, 2011 cit. por Vallarde y Olivé, 2015).

Estas premisas gestarían las bases para reconocer la legitimidad y validez del conocimiento tradicional o indígena y su potencial en la solución de conflictos ambientales y sociales. Vallarde y Olivé (2015) mencionan que su procedencia no-científica no debe restar racionalidad o legitimidad a dichos conocimientos en la medida que, tanto unos como otros, han derivado de prácticas confiables. Es decir que, no se necesita recurrir a la tradición de las ciencias para reconocer la justificación de un saber, si éste funciona en la realidad para una determinada comunidad de individuos; pues satisface ciertos fines dentro del contexto o práctica en que se genera y aplica, eso es una razón para sostener su validez y poder calificarlo como conocimiento.

Vallarde y Olivé (2015) realizan un análisis epistemológico sobre los aspectos o características que se reconocen al abordar la definición del conocimiento tradicional o indígena, en 12 documentos clave en materia jurídica e institucional por organizaciones como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Derivado del análisis conceptual y epistemológico de las definiciones, identificaron las siguientes características, no siempre presentes todas en

su conjunto: a) dimensión práctica, b) arraigo territorial, c) carácter colectivo, d) linaje u origen histórico, e) dinamismo intergeneracional, f) valor económico y socio-ambiental, g) carácter oral-lingüístico, h) matriz cultural, e) identidad colectiva y i) su expresión como derecho colectivo. Todas las definiciones coinciden al reconocer el carácter colectivo del conocimiento, su arraigo territorial y el origen histórico derivado de su transmisión intergeneracional. En contraste, casi ninguna definición aborda los conocimientos tradicionales como una expresión de los derechos colectivos reconocidos en la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas; tampoco es común que las definiciones reconozcan el valor potencial económico y no económico que tiene este conocimiento al contribuir en el presente y/o en un futuro a la conservación ambiental y al desarrollo social y económico. Finalmente, la dimensión práctica es la característica que presenta mayor ambigüedad entre las definiciones.

Vallarde y Olivé (2015) reflexionan que no todos estos aspectos que definen al conocimiento tradicional e indígena son exclusivos de este sistema de conocimiento, muchas de ellas son compartidas por otros, incluyendo el científico. Sin embargo, dos de ellas son inherentes a este y deben ser enfatizadas en las políticas públicas, marcos jurídicos y estrategias de acción: el carácter oral-lingüístico y su expresión como derecho colectivo.

En este sentido, el Comité Intergubernamental sobre Propiedad Intelectual y Recursos Genéticos, Conocimientos Tradicionales y Folclore de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI) resalta la variedad de formas y expresiones codificadas y no codificadas, divulgadas y no divulgadas en que se presentan los conocimientos tradicionales. Estas son sujetas a derecho por su calidad de patrimonio intelectual y patrimonio cultural inmaterial: capacidades, innovaciones, prácticas y enseñanzas que forman parte de los sistemas de conocimientos tradicionales, y conocimientos que entrañan el modo de vida tradicional de un pueblo o comunidad, o que están contenidos en sistemas codificados de conocimientos transmitidos de una generación a otra. (OMPI, 2010).

El enfoque biocultural para la conservación y el giro ontológico

Los conocimientos indígenas y/o tradicionales son la base de la gestión, conservación y creación de los ensambles de diversidad biológica planetaria (Maffi, 2007; Boege, 2008; Toledo, 2013). Durante la década pasada, los estudios bioculturales dieron cuenta del rápido declinamiento de la diversidad biológica de estos ensambles y la pérdida de transmisión intergeneracional del conocimiento, sus prácticas y su lenguaje; dando cuenta del vínculo inextricable entre todas las manifestaciones de vida (biológica, cultural y lingüística) (Maffi, 2005; Maffi, 2007; Merçon *et al.*, 2019).

El paradigma biocultural no sólo ha reconocido a las comunidades indígenas y equiparables en su papel de custodios y cuidadores de la diversidad biológica, sino que ha resaltado su importancia en la sustentabilidad a nivel global. En un mundo altamente interconectado, donde las actividades locales se ven afectadas por las dinámicas socioecológicas que ocurren en el planeta, estas prácticas basadas en la cultura benefician a todos los seres humanos y facilitan formas de ser alternativas (Merçon *et al.*, 2019).

En resonancia con los estudios bioculturales y las luchas de los pueblos indígenas por la defensa de sus territorios, el giro ontológico desde la antropología, ha aportado elementos para el establecimiento de puentes dialógicos y solución de coyunturas políticas entre las distintas ontologías y con ello sistemas de conocimiento (Tola, 2017; Povinelli, 2017). Se sostiene que, aunque la antropología ya ha generado categorías y conceptos para describir a la cultura, ésta la coloca dentro de un carácter simbólico en el sentido de creencias y perspectivas marginales que son consideradas irreales o irrelevantes ante lo considerado como “real”. Esto ha suscitado frecuentes controversias y conflictos irreconciliables, como los conflictos ambientales y movimientos en defensa del territorio, donde el debate gira en torno a cosas distintas pero relacionadas, por ejemplo: madre tierra y suelo. En este ejemplo, la propuesta de solución del problema medioambiental se dará en términos del suelo como concepto occidental “verdadero”. Para evitarlo, el giro ontológico propone desde la cosmopolítica generar acciones simultáneas para ambas, pero sin perjudicar a ninguna de las partes (Blaser, 2018; Soto-Arias, 2020).

Estos paradigmas han hecho eco en órganos intergubernamentales y de política internacional como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) creando puentes para el reconocimiento al papel central que tiene la cultura en la relación sociedad y naturaleza. Un concepto clave generado por IPBES, que busca trascender el término de servicios ecosistémicos, es el de “las contribuciones de la naturaleza para las personas” como una coproducción entre naturaleza y las personas; aproximación que permite reconocer explícitamente la gran variedad de intereses, visiones, valores y objetivos existentes en relación a ella, en la que los humanos son vistos como parte de la naturaleza entretejiendo una profunda relación con otros seres humanos y no humanos que confluyen en obligaciones recíprocas para mantener un equilibrio dinámico de la diversidad ecosistémica (Ives y Kendal, 2014).

Las “contribuciones de la naturaleza hacia las personas” implican nuevos y amplios alcances conceptuales que implicarán la generación de acciones de conservación realizadas para sustentar los componentes biofísicos y socioculturales de sistemas socio-ecológicos dinámicos, interactivos e interdependientes (Gavin *et al.*, 2015). En ellos será necesario involucrar en el diseño, puesta en marcha, gestión y evaluación a un amplio rango de tomadores de decisiones como los pueblos indígenas, comunidades locales, políticos, y científicos de diversas disciplinas (Diaz *et al.*, 2017).

Los enfoques bioculturales de la conservación deben: a) partir de que la conservación puede tener múltiples objetivos y actores; b) reconocer la importancia de la planeación intergeneracional e instituciones para la gobernanza adaptativa a largo plazo, c) reconocer que la cultura es dinámica, y este dinamismo moldea el uso y la conservación de los recursos, d) adaptar las intervenciones al contexto socioecológico, e) diseñar y recurrir a marcos institucionales novedosos, diversos y anidados; f) priorizar la importancia de la colaboración y la creación de relaciones para la conservación, g) incorporar los distintos derechos y responsabilidades de las partes; y g) respetar y reconocer diferentes ontologías y sistemas de conocimiento en la planificación de la conservación (Gavin *et al.*, 2015; Merçon *et al.*, 2019).

Conocimiento ecogeográfico y pedológico de las comunidades indígenas

Espacio, paisaje y conocimiento ecogeográfico.

El espacio geográfico, según Milton Santos (1986), es el resultado de la apropiación social de la naturaleza, proceso que adquiere un carácter global y diferenciado a la vez, en los distintos puntos del planeta. La expresión visible de esta apropiación es el paisaje, entendido como unidad espacio-temporal en el que los elementos de la naturaleza y cultura convergen en una sólida, pero dinámica comunión (Barrera-Bassols y Urquijo, 2009).

Urquijo Torres y Barrera-Bassols (2009) mencionan que:

Se trata de una categoría de aproximación geográfica que se diferencia del ecosistema o geosistema (Sochava, 1972) —concepto que explica el funcionamiento puramente biofísico de una fracción de espacio (García, 2002)— y del territorio —unidad espacial socialmente moldeada y vinculada a las relaciones de poder (Raffestin, 1980)—, en que en el paisaje confluyen tanto los aspectos naturales como los socio-culturales; de tal forma que resulta ser la dimensión cultural de la naturaleza (Sauer, 1995; Ojeda, 2005), o bien, la dimensión natural de la cultura. La concepción del paisaje implica así una posición unificadora frente a la dicotomía naturaleza-cultura —común en el pensamiento científico dominante— que dificulta cualquier comprensión ecológica y social, del ayer, del hoy y del futuro (p. 231).

En el paisaje es posible identificar recreaciones, continuidades o rupturas de las lógicas en la permanente transformación del medio, pues las formas paisajísticas son definidas en diferentes momentos históricos, aunque coexistentes en el momento actual (Santos, 2000). Santos construye la metáfora de la “rugosidad”, desde la perspectiva geomorfológica de Jean Tricart, para referirse a las formas paisajísticas pasadas que condicionan las acciones, las representaciones y la producción de formas presentes y futuras. Esta inercia dinámica es la que permite entonces que el pasado esté presente y las rugosidades sean herencias morfológicas de carácter socio-geográfico de tiempos pasados (Zusman, 2002).

Como producto intelectual y material de un grupo social, el paisaje forma parte de una cosmovisión completa que se inserta en un proceso de larga duración. De hecho, el paisaje

es una manera localizada y aterrizada de ontologías que enmarcan el comportamiento humano (Barrera-Bassols y Urquijo, 2009). Entonces, si el paisaje se entiende e interviene en función de los contextos espacio-temporales, las cosmovisiones y los diversos actores, se deben considerar distintas formas de percepción e intervención paisajística. Como unidad monista territorializada, totalidad en la que no hay separación de sus componentes, el paisaje requiere ser visualizado bajo la óptica de quien lo produce y reproduce, lo innova, lo sueña o imagina, lo goza y lo sufre, y de quienes lo estudian o interpretan desde afuera o de aquellos que intentan dominarlo sin constituir parte de él (Urquijo-Torres y Barrera-Bassols, 2009). En este sentido, Mavisoy- Muchavisoy (2018) reflexiona sobre la necesidad de reinterpretar la noción del espacio indígena a partir de la episteme propia y de su recuperación semántica a través de la toponimia original del lugar, y por lo tanto, de la lengua y la cultura como escenarios de la representación de la realidad. Se trata de una memoria colectiva e íntima que solamente puede ser narrada desde el lugar donde se teje con los elementos y vestigios paisajísticos; se trata de una memoria-conocimiento-experiencia que ha sido generada en las diferentes etapas de la vida y en relación con la cultura y sociedad que establecen una estrecha relación con el cosmos, la naturaleza, consigo mismo y con el mundo.

Rivera (2020) propone que para analizar el proceso a través del cual las sociedades desarrollan paisajes agrícolas y los modifican en el tiempo se deben abordar los aspectos físicos (elementos tangibles), utilitaristas (provisión de recursos), técnicos (conocimiento y manejo de recursos), cosmológicos (ontologías), identitarios (sentido de pertenencia), éticos (valores) y estéticos (composición escénica).

Dentro de este análisis, Pulido y Bocco (2016) resaltan la importancia de los conocimientos ecológicos tradicionales en la configuración del paisaje agrícola y su intrínseca relación con la cultura. Se trata de conocimientos ambientales adquiridos por habitantes de larga temporalidad en torno a determinado territorio que les permite tomar decisiones, reconocer procesos, adaptarse al cambio y generar estrategias para su supervivencia (Berkes, 2000).

El conocimiento tradicional eco-geográfico detallado que las comunidades indígenas y locales han desarrollado, les permite identificar regiones y unidades de paisaje a diferentes escalas en el territorio en función del clima, la altitud, la geoforma principal, el suelo y la cubierta vegetal; así como autodenominar parajes, en lo que la geografía reconoce como

toponimias (Pulido y Bocco, 2016). Estas clasificaciones que parten de la experiencia e interacción directa con el espacio, forman parte de los sistemas de representación que reconocen y orientan en el paisaje a los grupos sociales, definiendo identidades colectivas forjadas históricamente de forma dinámica como guía de su intervención (Claval, 1995). En su actuar cotidiano las comunidades campesinas manipulan agentes geológicos y procesos ecológicos, desarrollan conocimiento local en torno al mantenimiento y/o mejora de la fertilidad y permiten el manejo del riesgo y la vulnerabilidad de los paisajes. Este conocimiento es rico y diverso particularmente en las sociedades tropicales que habitan en condiciones climáticas y topográficas extremas, lo que se refleja en la diversidad de prácticas que involucran procesos complejos humano-ambiente como el manejo de la pendiente, la gestión de recursos múltiples y la construcción de horizontes orgánicos para el mejoramiento del suelo (Bocco y Winklerprins, 2015).

Etnoecología y etnopedología

La Etnoecología como abordaje interdisciplinario ha generado un marco conceptual para el entendimiento holístico de los procesos humanos, en el espacio y tiempo, a través de los cuales establece relaciones con la naturaleza. El análisis espacio-temporal de la matriz *kosmos* (ontología), *corpus* (sistema cognitivo y repertorio de conocimientos), *praxis* (conjunto de prácticas de producción) y sus interacciones dan como resultado el pensamiento y la práctica eco-geográfica local (Barrera-Bassols y Toledo, 2005).

El conocimiento y entendimiento indígena sobre la morfología, génesis, clasificación local y manejo del suelo o tierra, como dominio polisémico, ha sido estudiado desde una perspectiva ecológica por la Etnopedología (Ortiz-Solorio y Gutiérrez-Castorena, 2001; WinklerPrins y Barrera-Bassols, 2003). Este conocimiento aplicado en el contexto de los procesos paisajísticos, ha sido utilizado para identificar las ventajas y limitantes ambientales de los suelos, clasificarlos, mejorarlos, adoptar componentes tecnológicos y diseñar estrategias para su manejo (Oudwater y Martin, 2003; Paytona *et al.*, 2003; Barrera-Bassols y Zinck, 2003; Licona-Vargas *et al.*, 2006).

El conocimiento tradicional del suelo se ha sistematizado de forma dinámica por generaciones en lo que la etnopedología ha denominado *clasificaciones de tierras* que incluyen la percepción del suelo, sus características, su valoración de uso y gestión (Ortiz-Solorio y Gutiérrez-Castorena, 2001; Barrera-Bassols y Zinck, 2003; Zinck y Cram, 2010).

El suelo y los sistemas agroforestales

La degradación del suelo en el contexto de los socio-ecosistemas

El suelo es un cuerpo natural en la interfase atmósfera-litosfera-biosfera-hidrosfera, que ha recibido el nombre de pedosfera, es una entidad dinámica, finita y no renovable que soporta funciones y servicios ecosistémicos básicos para el mantenimiento de la productividad primaria neta, la biodiversidad, el hábitat, el ambiente, la salud y alimentación humanas (Lal, 2015; Targulian *et al.*, 2019). El suelo provee servicios culturales, de regulación y de aprovisionamiento que dependen de su calidad y salud, cuando un suelo se degrada su capacidad de proveer servicios queda mermada (Lal, 2016). Es importante detenerse a analizar las diferencias entre calidad y salud del suelo, muchas veces utilizado indistintamente. La calidad de un suelo define sus características y la dinámica de sus propiedades, mientras que, su salud provee una valoración de los suelos en su estatus funcional, relacionándose con los servicios ecosistémicos que puede brindar; es decir, su capacidad para proveer un servicio basada en el almacén o proceso existente (Wander, *et al.*, 2019).

Los atributos esenciales del suelo para la vida son: a) físicos, para el suministro de aire, agua, intercambio gaseoso y soporte del hábitat; b) químicos, que moderan la reacción del suelo, la disponibilidad y transformación de nutrientes; c) biológicos, como fuente de reciclaje de energía y nutrientes; y d) ecológicos, para el balance hidrológico y energético. Estos atributos de forma individual y a través de su interacción, crean entornos propicios para la vida (Lal, 2016; FAO, 2017).

Dentro de los procesos de degradación del suelo se reconocen dos categorías principales, la primera es la erosión, definida como el desplazamiento de las partículas del suelo por agua o viento (Hellin, 2006). Se trata del proceso que más atención ha recibido por la investigación y en el que se han centrado las intervenciones para resolver el problema de la degradación del suelo, sin embargo, como veremos no es el único. La erosión de los suelos conduce a la pérdida de partículas finas, ricas en materia orgánica y nutrientes, reduciendo la profundidad de enraizamiento efectiva y la disponibilidad de las reservas de agua, exponiendo el subsuelo y afectando el vigor y el crecimiento de las plantas (Semarnat-CP, 2002; Hellin, 2006).

La segunda categoría asesta al deterioro del suelo *in situ*, lo que implica procesos de degradación biológica, química o física que desembocan en la compactación, disminución de materia orgánica del suelo, deterioro de las poblaciones de microorganismos, desestabilización y vulnerabilidad estructural, lixiviación excesiva de cationes, disminución en el pH del suelo y menor capacidad de retención de agua (Hellin, 2006). El deterioro del suelo *in situ* es el que más hectáreas de suelos afecta en nuestro país (Semarnat-CP, 2002).

La figura 1 esquematiza la compleja interacción entre los factores externos de la degradación del suelo, los posibles procesos de degradación que el suelo puede sufrir y los servicios ecosistémicos o contribuciones que tiene para las personas que se ven afectados o mejorados. En el esquema se ven ejemplificadas las propiedades inherentes del suelo que pueden ser agravantes de los factores que desencadenan la degradación. Estas propiedades no pueden ser manejadas o son difícilmente modificables como la textura, pedregosidad, tipo de material parental, topografía, etc (Dominatti, 2010; Targulian *et al.*, 2019). A su vez, se ejemplifican las propiedades gestionables del suelo que dependerán mucho del manejo como su contenido de materia orgánica, estructura de la capa superficial, cubierta vegetal, contenido de nutrientes, densidad aparente, etc., que pueden influir positiva o negativamente en los procesos de degradación (Dominatti, 2010). Las prácticas de manejo que inciden directamente en el uso eficiente de agua y nutrientes, en el incremento de la fertilidad, el mejoramiento de la estructura, la protección de la capa superficial del suelo y la conservación y revitalización de la biodiversidad del suelo, impactan directamente en su salud. Por otro lado, existen factores naturales y antropogénicos externos que pueden influir negativamente en su calidad y salud, tales como el cambio climático, los desastres naturales, los cambios de

uso de suelo, la inseguridad en la tenencia de la tierra, la contaminación, los procesos económicos y políticos, así como las prácticas insostenibles de producción, por mencionar algunos.

Pese al conocimiento de los procesos físicos y bioquímicos que generan la degradación de los suelos, las políticas y proyectos a nivel global encaminados a su conservación no han podido resolver sostenidamente los procesos de degradación del suelo. Estas aproximaciones se han basado principalmente en la prevención de la erosión y la pérdida de la fertilidad, ignorando otras causas directas e indirectas de la degradación tales como factores políticos y socio-económicos (Lal, 2015; Albadejo, 2021). La falta de enfoques bioculturales para la conservación en la formulación de políticas, ha provocado un enfoque reduccionista de la interacción del suelo con otros componentes de los socio-ecosistemas, que se ha reflejado en el agravamiento de los procesos degradativos (Lal, 2015; Lal, 2016; Gavin *et al.*, 2015; Albaladejo, 2021).

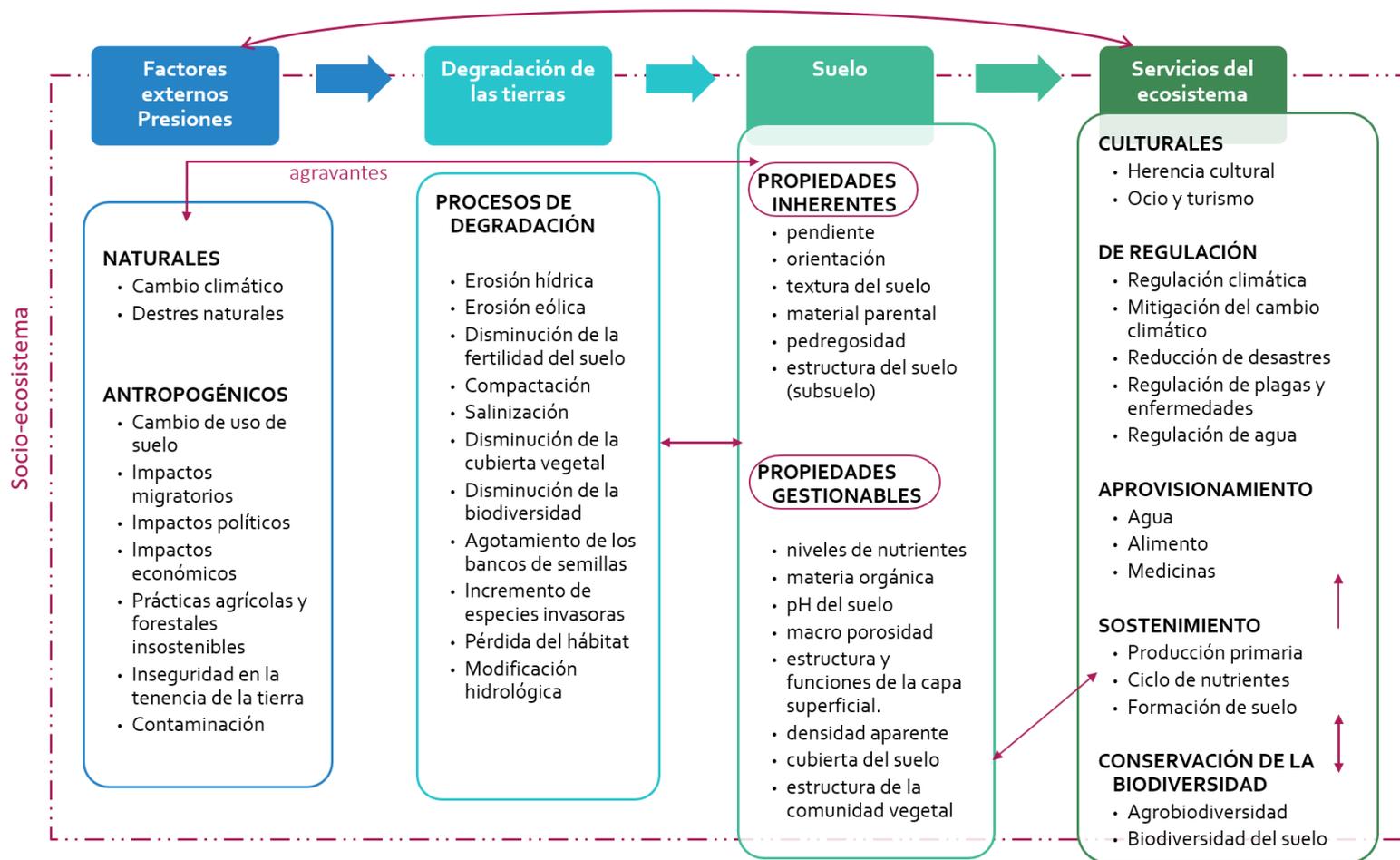


Figura I. Procesos de degradación del suelo en el contexto de los socio-ecosistemas y servicios ecosistémicos.
 Elaboración propia adaptada de “A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils” por Dominati, Patterson y Mackay, 2010, *Ecological Economics*, 9(69), 1858-18

El suelo como almacén de carbono

La materia orgánica del suelo es una de sus propiedades gestionables, está constituida por carbono orgánico del 45 al 60% de su masa y numerosas funciones ecosistémicas dependen de su dinámica. El almacén de C del suelo consiste en dos componentes relacionados pero distintos: el carbono orgánico del suelo (COS) y el C inorgánico del suelo (CIS). El almacén de CIS está comprendido por carbonatos primarios y secundarios, estos últimos derivados de la disolución de calcita (sin secuestro neto de CO₂ atmosférico) y del intemperismo de los silicatos (con secuestro neto de CO₂ atmosférico). A diferencia del CIS, el COS es altamente dinámico, su tiempo de residencia medio depende del grado de protección física, química, biológica y ecológica en la matriz del suelo (figura 2). La formación de micro agregados y complejos órgano-minerales pueden proteger el COS contra los procesos microbianos por milenios (Lal, 2016).

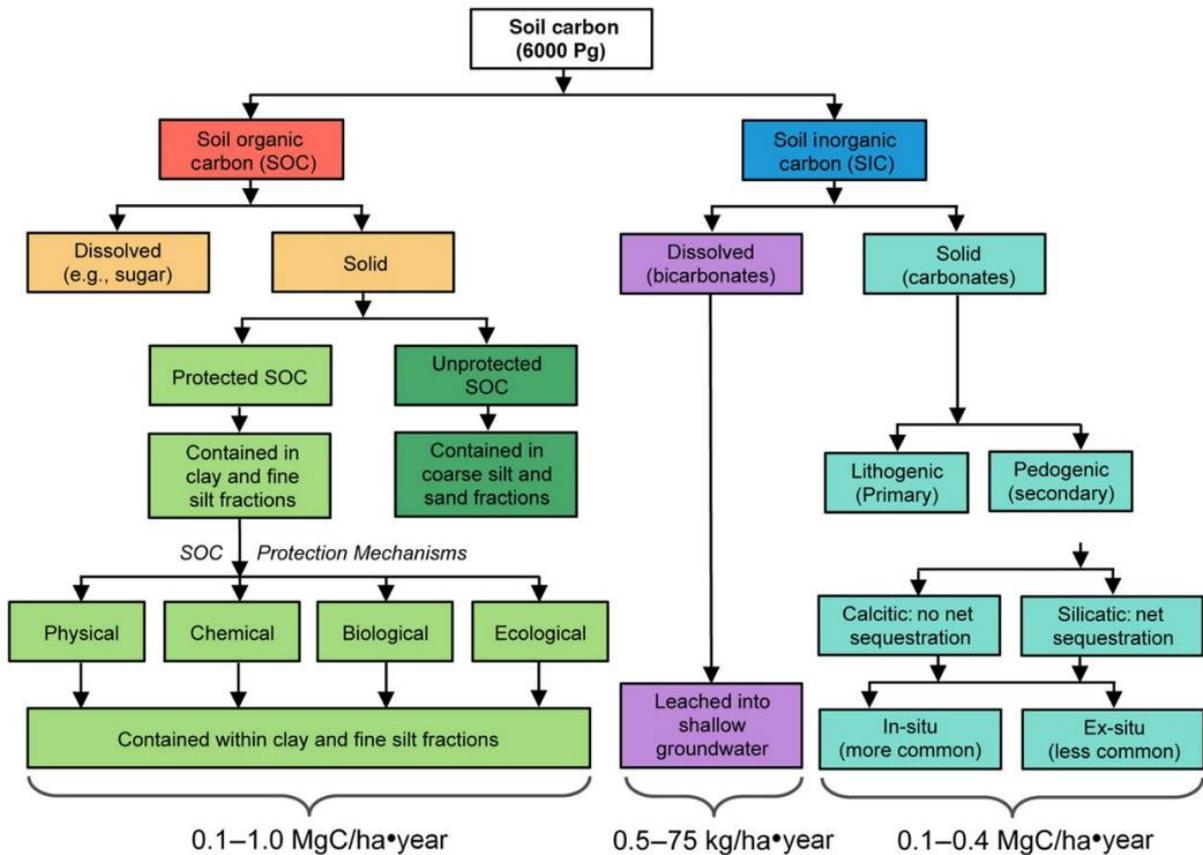


Figura 2. Tipos de almacenes orgánicos e inorgánicos en el suelo. Los valores numéricos listados en la línea final son los rangos de secuestro de carbono orgánico e inorgánico en diversos suelos y ecorregiones. Tomado de "Soil health and carbon management" Lal, 2016. *Food and Energy Security*, 5(4), 212-222.

El secuestro de CO₂ es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de las plantas y se almacena en el suelo de forma dinámica y continua (Lehmann y Kleber, 2015). Este proceso comprende varias etapas, algunas de ellas no lineales: 1) la extracción del CO₂ atmosférico por las plantas; 2) la fijación de carbono del CO₂ en la biomasa vegetal a través de la fotosíntesis; 3) la transferencia de carbono de la biomasa vegetal al suelo en forma de residuos orgánicos; 4) la descomposición progresiva de los residuos orgánicos en biopolímeros y posteriormente en moléculas más pequeñas; 5) la movilización del carbono orgánico en la matriz del suelo a través de procesos físicos, químicos y biológicos como la adsorción, protección, desorción y actividad microbiana y 6) y su mineralización, regresando parte del C a la atmósfera (Lehmann y Kleber, 2015).

Dado el papel de los suelos en la mitigación y adaptación al cambio climático, y las limitaciones presentadas por la saturación del CO₂ en el secuestro de insumos adicionales de carbono, se requiere una gestión acertada del suelo para asegurar que un suelo se convierta en un sumidero y no en una fuente de CO₂ atmosférico (Paustian *et al.*, 2015).

Sistemas agroforestales tradicionales, conservación de suelo y captura de C

La agricultura y la ganadería emiten alrededor del 11% de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, un aproximado de 10 mil millones de toneladas de CO₂ eq., las que se incrementan si se consideran los 785 millones de toneladas producto de la energía de combustibles fósiles utilizados en este mismo sector. En contraste, la absorción mundial por sumideros relacionados con la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra se encuentra alrededor de sólo 2 mil millones de ton de CO₂ eq. a nivel global (FAO, 2014). Las actividades que generan más emisión son, por orden de importancia, la fermentación entérica producto de la ganadería, los fertilizantes sintéticos, los campos de inundación arroceros y la inapropiada gestión del estiércol (FAO, 2014). Otros factores responsables de la emisión de CO₂ son la quema de vegetación, la quema de combustibles fósiles y el desmonte de bosques para agricultura y ganadería (Dhyani *et al.*, 2020).

Por otro lado, los procesos de degradación del suelo han cobrado importancia en el marco del calentamiento global porque los suelos representan la mayor reserva terrestre de carbono orgánico estimadas en una media de 1457 Pg de carbono a un metro de profundidad, aunque su distribución es espacial y temporalmente variable (Scharlemann *et al.*, 2014). Su degradación lo convierte en fuente neta de gases de efecto invernadero, a nivel global al año se pierden 12 millones de hectáreas de suelo por degradación, causando la emisión de 1.1 Pg de carbono (Pg=petagramo= 10^{15} g= 1,000,000,000 = mil millones de toneladas) a la atmósfera y entre 0.3 y 0.8 Pg C al océano por el arrastre de partículas (FAO, 2015; Wani *et al.*, 2017; FAO, 2017, Paustian *et al.*, 2019; Leno, 2020).

Dentro de los sistemas agrícolas estudiados, los sistemas agroforestales, seguidos de los sistemas con labranza de conservación, tienen el mayor potencial para almacenar y remover dióxido de carbono atmosférico, gracias al aumento de la productividad primaria neta, los aportes de enmiendas orgánicas al suelo, el reciclaje elevado de nutrientes y la protección contra pérdidas de C por degradación del suelo (Nair, 2009; Lal, 2014; Dignac *et al.*, 2017). A su vez, el componente forestal ofrece regulación microclimática y mayor biomasa sobre el suelo y debajo del mismo, lo que, conjuntamente, favorece la actividad de fauna y microorganismos que promueven la protección del C en micro y macro agregados del suelo (FAO, 2002; Singh, *et al.*, 2018)

La acumulación de C en la biomasa y en el suelo tiene un gran potencial para mitigar el cambio climático; el grado de secuestro de estos sistemas depende de un número de factores sitio específicos como la edad del sistema, su composición, estructura y función, el manejo agrícola y forestal, la protección del suelo contra la degradación y las condiciones edáficas, especialmente el contenido de limos y arcillas (Roncal-García *et al.*, 2008; Muchan, 2020; Bateni *et al.*, 2021). Todo ello en función del contexto ecológico y sociocultural en el que se enmarca el sistema agroforestal (Dhyani *et al.*, 2020).

Estudios recientes sobre sistemas agroforestales (SAF) bajo condiciones ecológicas diversas mostraron que estos incrementan y conservan los almacenes de C sobre el suelo y en el suelo, estimando su potencial de acumulación entre 0.29 y 15.21 ton ha⁻¹ año⁻¹. Así mismo se ha demostrado que los sistemas agroforestales en sitios húmedos y tropicales tienen un mayor potencial de secuestro de carbono que los sitios áridos, semiáridos y templados (Dhyani *et al.*, 2020).

Muchan y colaboradores (2020) realizaron un metaanálisis sobre SAF simultáneos y secuenciales, con especies fijadoras de N y no fijadoras, y en predios con distintas texturas de suelo en los trópicos húmedos y subhúmedos; encontrando que, en comparación con los monocultivos, los SAF incrementaron significativamente el almacén de C y N orgánicos del suelo y en menor medida el P y N inorgánicos. En estos estudios se encontró un mayor contenido de C y N orgánicos asociado a agregados que protegen estos nutrientes, así como mayores aportes de biomasa de árboles y arbustos; y, en el caso del N, asociaciones simbióticas con bacterias fijadoras de N atmosférico que aumentan su disponibilidad en el suelo. Así mismo, sustentaron que las prácticas de la agroforestería reducen significativamente las tasas de erosión del suelo al aumentar las tasas de infiltración, la estabilidad estructural de los macro agregados del suelo y disminuir la escorrentía, lo que a su vez promueve un almacenamiento de C estable en el tiempo (figura 3).

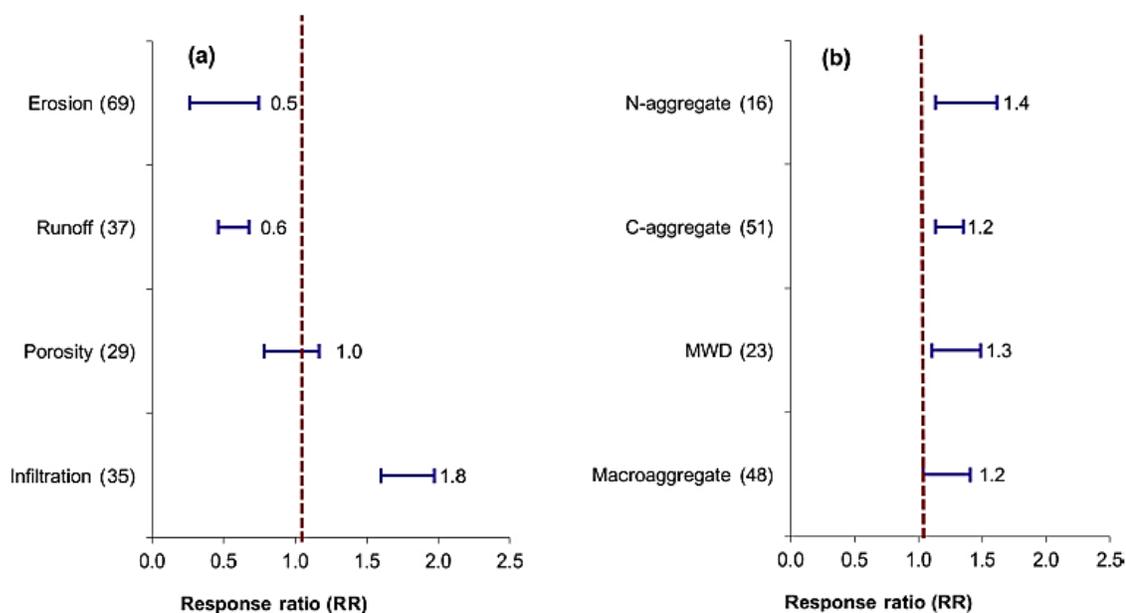


Figura 3. Variaciones en indicadores relacionados a la erosión del suelo en sistemas agroforestales. La línea roja punteada indica la tasa de respuesta (RR=1), donde las respuestas en agroforestería y el control son las mismas. Reducciones o aumentos significativos se indican cuando el 95% de intervalos de confianza yacen respectivamente debajo o encima de la línea punteada roja. Los números en paréntesis en frente de cada variable representan el tamaño de muestra total para el análisis. Tomado de “Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis”. Muchan y colaboradores, 2020. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 295.

Entonces, se sabe con certeza que una fracción significativa del C atmosférico puede capturarse y almacenarse en la biomasa vegetal y en los suelos con la adopción de SAF. Sin embargo, aumentar las existencias de C en un período de tiempo determinado es solo un paso; el destino de esas existencias es lo que, en última instancia, determina el secuestro (Dyhani, *et al.*, 2020).

En los SAF, el secuestro de C es un proceso dinámico ya que, en el momento del establecimiento, es probable que muchos sistemas sean fuentes de GEI (pérdida de C y N de la vegetación y suelo); siguiéndole una fase de acumulación rápida y un período de maduración cuando se almacenan toneladas de C en los troncos, tallos, raíces de los árboles y en el suelo. Al final del período de rotación, cuando se talan los árboles y se vuelve a cultivar la tierra (sistemas secuenciales), parte del C se libera a la atmósfera. Por lo tanto, el secuestro efectivo solo puede considerarse si existe un saldo neto positivo de C de un almacén inicial después de algunas décadas, es decir que, la cantidad de C secuestrado en el suelo de un sitio refleja el balance a largo plazo entre los mecanismos de recepción y liberación (Dyhani, *et al.*, 2020). Entonces, la cantidad de C acumulado en cualquier SAF es una manifestación directa del potencial de producción ecológico del sistema, y de las prácticas culturales y tecnológicas adaptadas a su manejo. De esta interacción derivará la estructura y función de los componentes y las especies seleccionadas (Dyhani, *et al.*, 2020).

Para las naciones pluriculturales como México, los sistemas agroforestales tradicionales o indígenas, además de representar una alternativa viable para la mitigación de gases de efecto invernadero, son uno de los principales escenarios donde se genera, desarrolla y conserva de forma dinámica la diversidad biológica y cultural de nuestro país (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Moreno-Calles, Toledo y Casas (2013) documentaron veinte sistemas agroforestales tradicionales en México actualmente en uso: el *tlacolol*, *kool*, *milpa*, *terraza*, *metepantle*, *milpa-chichipera*, *huamil*, *oasis*, *tajos*, *milpa-mezquital*, *palma-milpa*, *calal*, *chinampa*, *te'lom*, *kuojtakiloyan*, *cacaotal*, *huerto*, *solar*, *patio* y *ekuario*. En estos sistemas se desarrolla: a) la preservación selectiva de componentes forestales o silvestres, principalmente leñosos y perennes, bajo manejo incipiente, mediante prácticas de tolerancia, fomento, protección y siembra de grupos de especies particulares; b) el manejo de elementos agrícolas que incluyen plantas perennes o anuales, cultivadas y con niveles avanzados de domesticación; c) el manejo de animales silvestres, en proceso de domesticación o domesticados y d) unidades sociales de producción que maximizan las interacciones ecológicas en un contexto ecológico, cultural y económico particular (Nair, 1997 cit. por Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Con relación a la captura de C, los conocimientos y prácticas de los SAF indígenas que involucran procesos complejos humano-ambiente como el manejo de la pendiente, la gestión de múltiples recursos y la construcción de horizontes orgánicos para el mejoramiento del suelo, son clave en su papel como receptores o emisores de C a la atmósfera. Este conocimiento es rico y diverso particularmente en las sociedades tropicales que habitan en condiciones climáticas y topográficas extremas (Bocco y Winklerprins, 2015) Así mismo, en la medida en que estos SAF son fuente de recursos forestales, disminuyen la presión por deforestación de áreas aledañas, una de las principales actividades emisoras de C a la atmósfera (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Entre las prácticas para el manejo de la biomasa, la vegetación puede ser aclarada, tumbada, quemada, tolerada, deshierbada, protegida, sembrada, trasplantada y cosechada. Por su parte, entre las prácticas para el manejo de la fertilidad del suelo y la prevención de la erosión, se encuentran las asociaciones, rotaciones, secuenciamientos, descansos cortos y largos, la construcción de terrazas, adición de enmiendas orgánicas, construcción de horizontes orgánicos, asociación con componentes forestales que fijan N, etc (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

Entre los sistemas agroforestales más antiguos, está la agricultura itinerante o *shifting cultivation*, estos sistemas, que podrían tener una antigüedad de 4,500 años, incluyen el aclareo de vegetación, seguido generalmente del empleo del fuego para hacer disponibles los nutrientes de la biomasa, el cultivo por periodos cortos y su alternancia con un descanso forestal que excede al periodo agrícola. Estos son sistemas agroforestales debido a que cuando se roza la vegetación, suelen dejarse en pie árboles y arbustos silvestres o sus tocones para que rebroten, lo que facilita la recuperación del bosque y el aprovechamiento de las especies que se dejan en pie (Rojas-Rabiela, 1991). En sistemas “mejorados” se promueve la regeneración de algunas especies, se siembra y/o trasplantan especies fijadoras de N, de rápido crecimiento, raíz profunda, etc., lo que acelera la recuperación del almacén de C (Wilkinson y Elevitch, 1999).

En sus primeras etapas de manejo las prácticas de aclareo y quema de la vegetación son emisoras de C a la atmósfera, con una pérdida promedio, en el trópico húmedo, de 120 ton C ha⁻¹ hasta finalizar el periodo agrícola o 58.3 ton C ha⁻¹ año⁻¹ en un periodo de 2 años (Woomer, 2000; FAO, 2014). En general, el 80% del carbono del sistema es perdido durante el aclareo, quema y fase de cultivo, por lo que el uso que se le da posterior a la fase de cultivo puede resultar en mayores pérdidas o secuestro de carbono (Woomer, 2000).

En un estudio realizado en los trópicos húmedos de Brasil, Perú, Camerún e Indonesia por Woomer y colaboradores (2000) encontraron que posterior a la quema y aclareo, las actividades que mayores tasas de secuestro reportaron fueron la configuración de agrobosques y la regeneración natural del bosque. En el caso de la regeneración natural en selvas tropicales, el secuestro de carbón por la biomasa y el suelo fue de $7.9 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que en los agrobosques fue de $3.3 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Woomer, 2000). En la medida que los componentes perennes crecían durante la sucesión la captura las tasas de secuestro incrementaron gradualmente, siendo inferiores en el establecimiento de pastizales y cultivo de forma permanente con tasas de $0.6 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por otra parte, en los sistemas estudiados se recuperó el carbono orgánico del suelo como máximo a $0.2 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Siendo las tasas más altas recuperadas por bosques maduros y sistemas agroforestales jóvenes con cultivos. El C del suelo representó el 13% del carbono total del bosque maduro, mientras que incrementó a 68% del total del sistema en los sistemas asociados con cultivos.

Aryal y colaboradores (2014) encontraron que el almacén de carbono en la biomasa viva después del establecimiento de la milpa de roza-tumba y quema en Campeche, incrementó rápidamente en etapas tempranas de la sucesión, $4.7 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en bosques secundarios de 4 a 10 años, debido a un mayor crecimiento y reclutamiento de árboles; mientras que en bosques secundarios maduros decreció a $2.44 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en bosques secundarios de 20 años. El C almacenado en el mantillo aumentó progresivamente durante la sucesión, mientras que el almacenado en la biomasa muerta no mostró una tendencia. El cambio neto promedio en las existencias de carbono fue positivo en todas las fases de la sucesión forestal, pero disminuyó con la edad llegando casi a cero en los bosques maduros, lo que enfatizó la importancia de los bosques secundarios tropicales como un importante sumidero de dióxido de carbono atmosférico.

En este y otros estudios, el C orgánico en el suelo no varió significativamente entre las etapas de la sucesión, esto puede deberse a la ausencia de mecanización del suelo y a la naturaleza más estable del C orgánico de este almacén (Woomer, 2000; Martin *et al.*, 2013; Aryal *et al.*, 2014). Por su parte, Fachin y colaboradores (2020) en un estudio de largo plazo, a través de la observación de la sucesión en selvas tropicales, encontraron que las prácticas de manejo de la agricultura itinerante, tienen efectos insignificantes sobre la materia orgánica del suelo, la biomasa microbiana y las reservas de nutrientes del suelo, pero efectos sustanciales sobre la disponibilidad de nutrientes, como se observa en la figura 4.

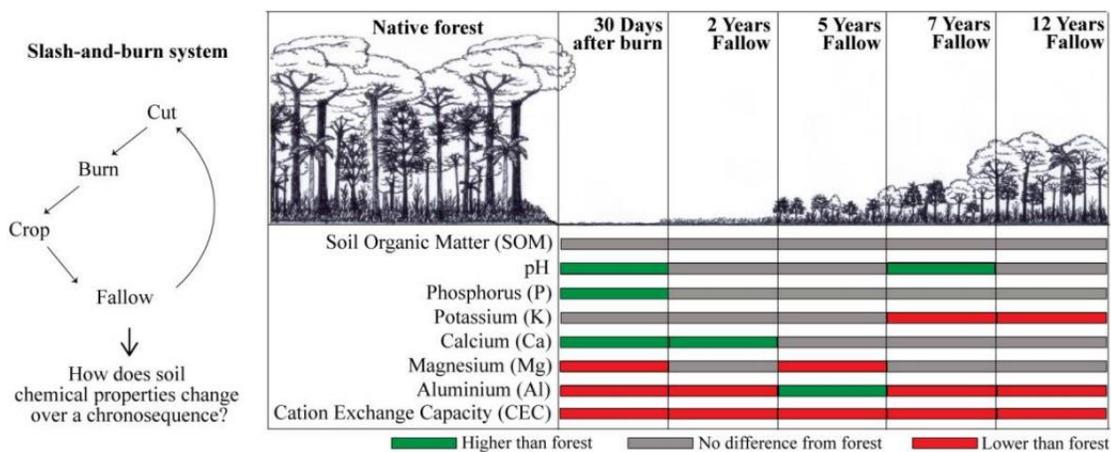


Figura 4. Disponibilidad de nutrientes, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico en sistemas de agricultura itinerante. Progresión después de la quema en comparación con un bosque maduro. Tomado de “Evolution of the soil chemical properties in slash-and-burn agriculture along several years of fallow” Fachin y colaboradores, 2020, *Science of The Total Environment*.

Los SAF indígenas o tradicionales, además de ser sistemas que potencialmente pueden fungir como almacenes de C se encuentran integrados a estrategias múltiples de uso y manejo de la diversidad y proveen diversos beneficios a los seres humanos a escala local, regional y global.

Dentro de su estructura y función conservan especies nativas, endémicas y de importancia cultural; integran y recrean las cosmovisiones, los conocimientos, las prácticas y las reglas de uso y, son escenarios para la innovación de las estrategias de manejo y de domesticación de especies y paisajes y, por lo tanto, áreas de conservación y continuo desarrollo de la diversidad biológica y cultural de nuestro país (Moreno-Calles, *et al.*, 2013). En la medida en que estos sistemas manejen de forma sustentable esta diversidad biológica y protejan la salud del suelo, serán los sistemas agrícolas con mayor potencialidad de almacén de C a largo plazo (Dyhani, *et al.*, 2020).

Aproximaciones al estudio del carbono

La teoría tradicional para el estudio del carbono orgánico del suelo se sustentó por muchos años en las primeras investigaciones basadas en el método de extracción alcalina, esta sugiere que la materia orgánica del suelo está formada por compuestos inherentemente estables, de gran tamaño molecular y resistentes a la descomposición denominados “sustancias húmicas”. Sin embargo, dichas sustancias no han podido ser observadas por las técnicas analíticas modernas, lo que llevó

a la comunidad de investigación de la materia orgánica del suelo a reconocer que se trataba de subproductos artificiales de la extracción y sustitutos inexactos de la materia orgánica natural.

Lehman y Kleber (2015) sintetizaron el nuevo paradigma de aproximación e investigación en el Modelo Continuo del Suelo, en el que la materia orgánica del suelo (MOS) existe como un continuo de fragmentos orgánicos que son procesados continuamente por la comunidad de descomponedores hacia un tamaño molecular más pequeño. Así, la MOS es un continuo que abarca desde el material vegetal intacto hasta el carbono altamente oxidado en ácidos carboxílicos.

La figura 5 ilustra el proceso de descomposición de grandes moléculas que conduce a una disminución en el tamaño del material vegetal primario y con ello aumentos simultáneos en los grupos polares e ionizables, aumentando también su solubilidad en agua. Al mismo tiempo, la oportunidad de protección contra una mayor descomposición aumenta a través de una mayor reactividad hacia las superficies minerales y la incorporación a los agregados.

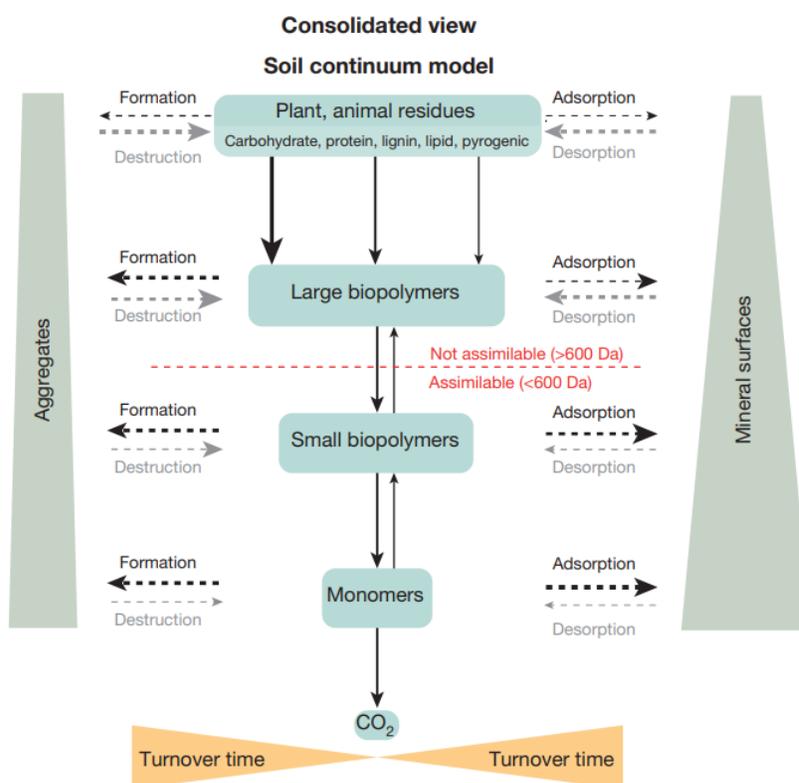


Figura 5. Modelo continuo del suelo.

Tomado de "The contentious nature of soil organic matter" Lehman y Kleber, 2015. *Nature* 528, 60–68

Esta visión emergente centra su atención en el acceso microbiano a la materia orgánica y enfatiza la necesidad de manejar los flujos de carbono más que los almacenes. Así mismo difiere de los métodos tradicionales para su estudio y da preferencia por métodos físicos y biológicos para el estudio del flujo de C en el suelo.

El fraccionamiento de materia orgánica representa uno de los métodos no destructivos que separa la materia orgánica por tamaño y densidad, pudiéndose dividir en materia orgánica particulada y asociada a minerales. Estos componentes de la MOS son fundamentalmente diferentes en términos de su formación, persistencia y funcionamiento, se definen físicamente en función del tamaño y la densidad, lo que puede verse ilustrado en los ejes “x” y “y” de la figura 6.

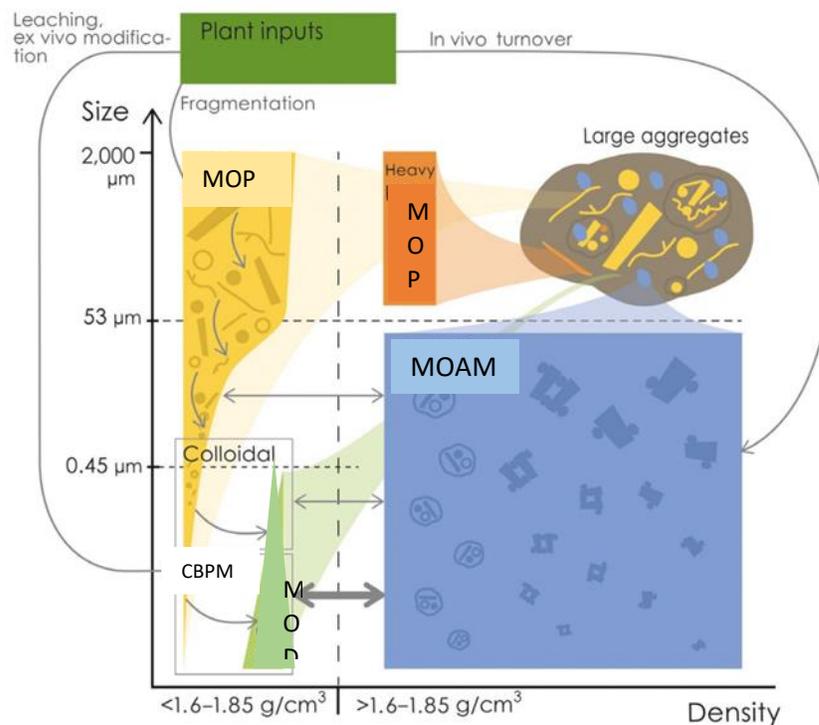


Figura 6. Representación conceptual de los principales componentes de la materia orgánica. La materia orgánica disuelta (MOD) se define generalmente como <math><0.45 \mu\text{m}</math> y es extraíble con agua. La especificación del límite de tamaño superior para la materia orgánica asociada a minerales (MOAM) varía según la región, de 20 a 63 μm en la figura se muestra 53 μm por simplicidad. La MOAM tiene múltiples formas, incluida la materia orgánica de partículas pequeñas (MOP) como estructuras encapsuladas por minerales, grupos organominerales y complejos organominerales primarios. Los agregados grandes pueden contener todos los demás componentes en diversa medida. Los CBPM son compuestos de bajo peso molecular. Las flechas que van desde las entradas de la planta hasta los diferentes componentes representan vías hipotéticas de formación de MOS. Tomado de “Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century” Lavalle, Soong y Cotrufo, 2020. *Global Change Biology*, 26, 261–273.

La diferencia definitoria entre los distintos componentes de materia orgánica es que la MOAM está protegida contra la descomposición por su asociación con minerales del suelo, mientras que la MOP no lo está; esto es porque las asociaciones minerales incluyen enlaces químicos entre materia orgánica del suelo y las superficies minerales o por la oclusión dentro de sus microporos o agregados pequeños (<50–63 μm), que hacen que la MOS sea menos accesible para los descomponedores y sus enzimas. Debido a esta diferencia fundamental en sus niveles de protección contra la descomposición, MOAM tiende a persistir durante mucho más tiempo que MOP (Lavelle, Soong y Cotrufo, 2020).

Cambio climático y propuestas desde la agricultura

Partiendo de que la agricultura es una de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero más importantes, a nivel institucional se han buscado encuadres teóricos y conceptuales para abordar su mitigación. La FAO (2019) recientemente ha propuesto el término “agricultura climáticamente inteligente” para impulsar que los sistemas de producción alimentaria sean más eficientes y resilientes. Los tres pilares de este enfoque son: 1) incrementar de forma sustentable la productividad y los ingresos, 2) construir resiliencia y adaptación al cambio climático, 3) reducir y/o remover gases de efecto invernadero en la medida de las posibilidades. Para lograrlo, se impulsan acciones estratégicas para efficientizar el uso de recursos en la agricultura, reducir el uso de combustibles fósiles, adoptar energías renovables, reducir la sensibilidad y aumentar la adaptación de los sistemas de producción a condiciones climáticas cambiantes, diversificar los sistemas de producción, retener y secuestrar carbón en los sistemas de producción (FAO, 2019).

Sin embargo, dada la vaguedad del concepto, multinacionales como Monsanto, McDonalds, Syngenta, Walmart y Yara han afirmado ser pioneras en agricultura climáticamente inteligente, argumentando que los mayores beneficios climáticos provendrán de las medidas que tomen los principales actores y empresas contaminantes. Estos actores le apuestan a la “intensificación sostenible” como estrategia para lograr una agricultura climáticamente inteligente porque aumenta los rendimientos al tiempo que reduce las emisiones por unidad de producción. Las prácticas de la

agricultura climáticamente inteligente no están obligadas a seguir principios agroecológicos o similares, tampoco existen salvaguardas sociales para evitar que estas actividades socaven los medios de vida de los agricultores, fomenten el acaparamiento de tierras o lleven a los agricultores al endeudamiento (Kothari *et al.*, 2019; Anderson, 2019).

Esta y otras propuestas como la compensación por emisiones de carbono, las economías verdes, mecanismos de mercado, la cuestión de regulación demográfica, etc., se quedan en estrategias reformistas a las crisis globales que intentan mantener el *status quo* del desarrollo; convierten los problemas ecológicos en problemas técnicos, que prometen soluciones mutuamente beneficiosas y la meta imposible de perpetuar el crecimiento económico sin perjudicar al medio ambiente. Sin una transformación sociocultural fundamental, las soluciones al cambio climático sólo pueden guiarnos en direcciones gerenciales y tecnocientíficas, en el que se reduce la acción a “un marco conceptual operativo de metas alcanzables, estímulos y objetivos; en lugar de dar continuidad al imparable desarrollo y progreso” (Kothari *et al.*, 2019; Escobar, 2019).

VII. Descripción de la zona de estudio

Aspectos bioculturales de Zacamilola

La congregación Zacamilola se ubica en las coordenadas 18° 40' 08" latitud norte y 97° 05' 02" longitud oeste, a un rango altitudinal que va de los 1,760 a los 2,300 msnm. (figura 7), pertenece administrativamente al municipio de Atlahuilco, que es uno de los trece municipios que conforman la sierra de Zongolica (INEGI, 2017). Dicha sierra se ubica en el centro del estado de Veracruz y está limitada al norte y noroeste por el valle escalonado de Acultzingo y Orizaba, al norte y al noreste por la planicie costera, al sur por el estado de Oaxaca donde continúa con el nombre de sierra Juárez, y al este y sureste por el valle de El Palmar-Tezonapa.

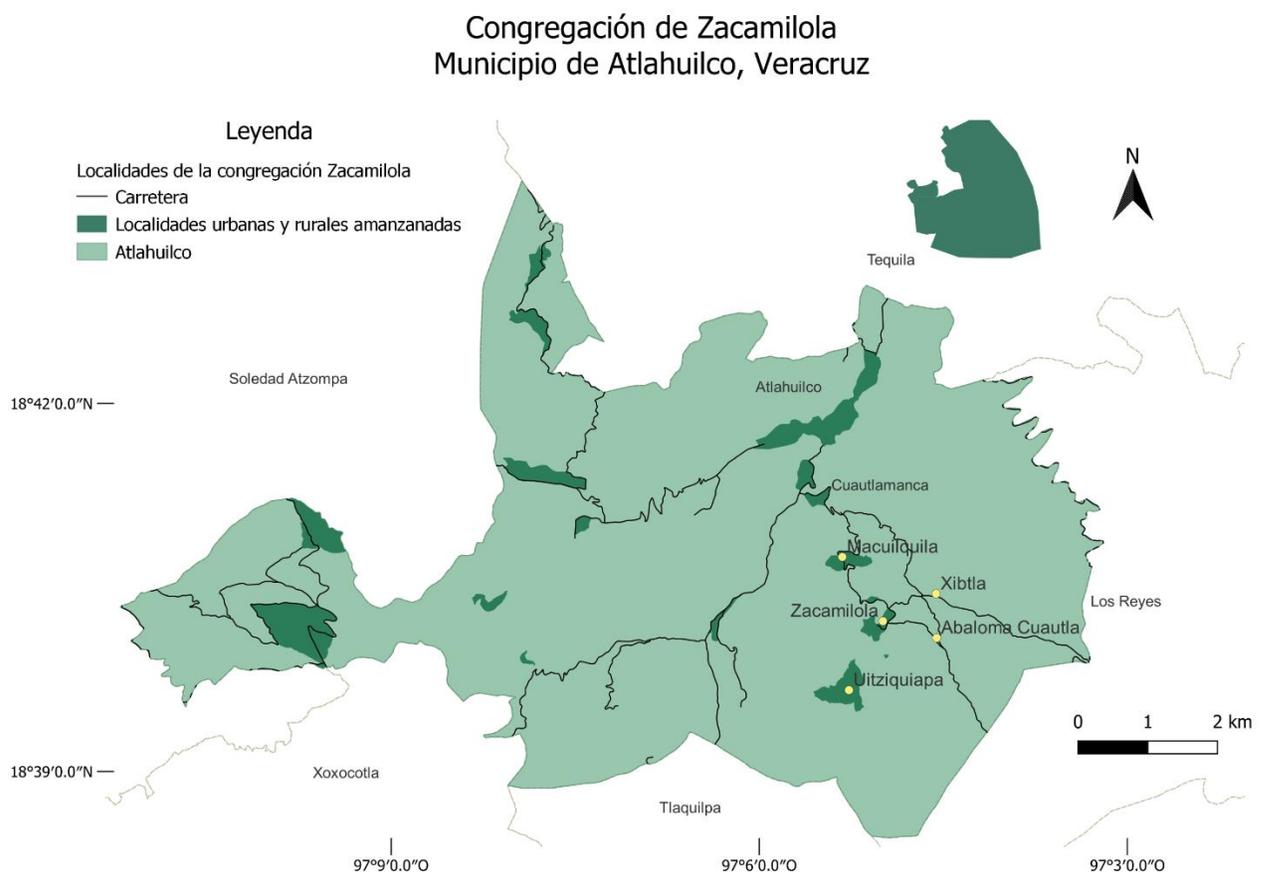


Figura 7. Ubicación de la comunidad de Zacamilola y colindancias. Elaborado por Edgar U. Echavarría Domínguez para fines de esta investigación.

Esta sierra acorde con su morfología y estructura geológica es parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, subprovincia de las Sierras Orientales de Oaxaca, caracterizada por ser una cadena montañosa estrecha y compleja, de orientación norte-sur y con altitudes superiores a los 2500m conformada por montañas plegadas constituidas por rocas sedimentarias mesozoicas. Las estructuras plegadas son alargadas, de dirección sureste-noreste, separadas por valles angostos y en parte dislocadas por fallas normales e inversas, debido a las condiciones de humedad, predomina la karstificación, que se manifiesta en la abundancia de dolinas de disolución, aristas afiladas, sumideros y cavidades vadasas verticales, asociadas con formas de erosión fluvial localizada (Geissert-Kientz, 1999). En la figura 8 se pueden apreciar las cuencas de alimentación hidrogeológicas kársticas que conforman la sierra de Zongolica y que dan lugar a los ríos Blanco, Tonto y Salado.

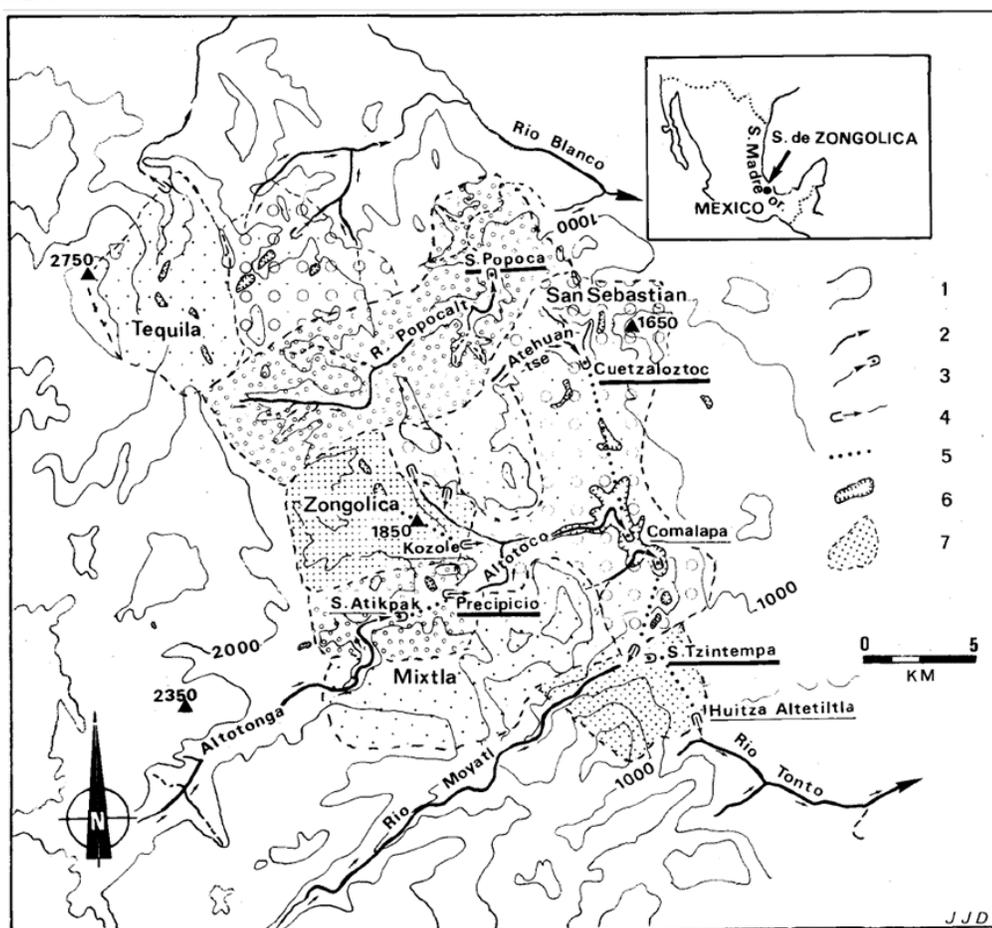


Figura 8. Cuencas de alimentación hidrogeológica kárstica de la sierra de Zongolica. Simbología: 1. Curva de nivel (equidistancia: 500m), 2. Cursos de agua, 3. Pérdida kárstica o sumideros, 4. Emergencia, 5. Flujos de cursos subterráneo. 6. Polje, 7. Cuencas de alimentación kárstica. Tomado de "Le karst: un témoin des mutations socio-économiques dans la Sierra de Zongolica (Mexique)" Delannoy, 1983. *Annales de la Société géologique de Belgique* 108, 77-83.

A nivel de comunidad, la congregación de Zacamilola colinda con Atetecocho, Cuautlamaca, Tlalmorado, Zihuateo y Ocotlajapa, comunidades pertenecientes al municipio de Atlahuilco. A nivel municipal, la congregación colinda con Los Reyes y San Juan Texhuacan, Tlaquilpa y Tequila (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019). La congregación se conforma por cinco localidades que son Manzanostla, Xibtla, Tlaltempan, Uitziquiapa y Abaloma-Cuautla (figura 7) cada localidad tiene un representante que se encuentra en permanente coordinación con el o la Agente Municipal. Por primera vez en el periodo 2018-2021, fue elegida una mujer, Catalina Tlaxcala Juárez, para estar al frente de la Agencia Municipal (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019).

Las decisiones sobre las 60 hectáreas ejidales y actividades comunitarias como las faenas se toman en asamblea, mientras que aquellas que atañen a la pequeña propiedad se toman de forma individual en el marco de las disposiciones asamblearias. En las faenas participan hombres y mujeres para atender las diversas necesidades de la comunidad y generalmente son convocadas por los comités, conformados mayormente por mujeres debido a las dinámicas de la migración (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019).

Recientemente se elaboró de forma participativa el Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola en el que además de realizar una recuperación de la memoria colectiva de la comunidad se estipula que:

El acceso a los recursos genéticos, biológicos, naturales y a los conocimientos tradicionales asociados, a las innovaciones y prácticas, así como su utilización; el desarrollo de proyectos, actividades o algún tipo de intervención que pretenda llevarse a cabo en la Congregación de Zacamilola, que pueda impactar sus recursos naturales, su patrimonio cultural y lugares o elementos sagrados por parte de cualquier organización o entidad, estará sujeto a un proceso de consentimiento fundamentado previo por parte de la Congregación.

Todo proceso para la obtención del consentimiento fundamentado previo deberá sujetarse a las características de un proceso participativo de consulta libre, previa e informada arriba descrita, en el que se respeten los derechos consuetudinarios, derechos humanos y derechos sobre el territorio, los recursos naturales, así como el derecho a no otorgar el consentimiento o aprobación (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019, p.59).

En este sentido, la congregación se ha posicionado políticamente frente a cualquier intento de uso de sus bienes naturales o culturales y ha generado estrategias de difusión y concientización entre sus pobladores. El uso, investigación o colecta de cualquier material de la comunidad debe ser informado y consensuado.

En tanto a sus bienes naturales, la congregación Zacamilola se encuentra en la zona altitudinal más alta de la sierra de Zongolica (1700-2700 msnm), presenta un clima C(m) templado-húmedo, con temperatura media anual entre 12° y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. La zona presenta abundantes lluvias en verano, con un rango de precipitación media anual de 1800 a 2000mm y con un porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual (CIBCEC, 2003).

Particularmente, la comunidad se asienta en un sustrato de calizas y calizas-lutitas que han delineado un paisaje de montañas de laderas abruptas, dolinas de disolución, aristas afiladas, sótanos y poljes (INEGI, 2017). En la figura 9 es posible apreciar las rocas calizas y lutitas que se observan en la comunidad. Los suelos dominantes son el Acrisol y el Luvisol, estos son suelos caracterizados por su alto nivel de lavado y lixiviación que ocasiona la acumulación de arcillas en el subsuelo y por su susceptibilidad a la erosión, son de colores rojos, pardos o amarillos y proceden de materiales parentales ácidos y de texturas finas (González-Medrano, 2004; INEGI, 2017).



Figura 9. Rocas calizas y lutitas en Zacamilola.

Este sustrato geológico aunado al clima frío de la región ha dado lugar a bosques mixtos de pino-encino (figura 10), dominados por *Pinus patula*, *P. oocarpa*, *P. strobus* var. *chiapensis* y *P. pseudostrobus*, asociadas con especies de *Quercus rugosa*, *Q. crassifolia*, *Q. oleoides*, *Quercus* spp., *Alnus acuminata* y *Arbutus* sp. (Ellis y Martínez-Bello, 2010).

Algunas especies vegetales de importancia para la comunidad son el *ilitl* (*Alnus* spp.), *tlaxcas* (*Cupressus* spp.), *chichilokotl* u ocote rojo (*Pinus* spp.), *tenexokotl* u ocote gris (*Pinus strobus* var. *chiapensis*), y *ketzalocotl* u ocote colorado (*Pinus patula*), *tlilawatl* o encino negro (*Quercus rugosa*), *iztacawatl* o encino blanco (*Quercus calophylla*) y *pitzakawatl* o encino delgado (*Quercus laurina*, *Q. affinis*), *tenexkuawitl* (*Buddleja cordata*), *tetzmolkuawitl*, *axokopak* (*Gaultheria acuminata*), *kuawechiotl*, *tepeilitl*, *tomakuawitl*, *awexotl* (*Salix* spp.), *iksotl* (*Yucca* sp.), *ekimitl* (*Erythrina* sp.), *awakatl* (*Persea americana* Mill), ortiga, escobilla, árnica, cucharillo (*Zantedeschia* sp.), sauco (*Sambucus* sp.), diversas variedades de helechos, y diferentes tipos de magueyes, entre otros. En la fauna se pueden encontrar ardillas, águilas, víboras, armadillos, mariposas, zorros, conejos y muchas variedades de insectos (Tlaxcala-Juárez, 2014; Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019; Vega-Ortega, 2021).



Figura 10. Bosque mixto de pino-encino de la congregación de Zacamilola.

Para el año 2020, la congregación de Zacamilola poseía una población de 2,131 habitantes de la cual 52% son mujeres y 48% hombres, de los cuales el 88% son hablantes del idioma náhuatl (INEGI, 2017). Las viviendas se abastecen de agua por medio de agua entubada y/o acarreo de los manantiales Zacatecochapan, Tenayapan, Weyakan, Weyapan y Ateskatl, aproximadamente el 25% de las familias hacen uso de agua captada de lluvia y se presentan periodos de escasez y de mala calidad del agua para consumo (Antonio-Acatzihua *et al.*, 2010).

En cuanto a los servicios de educación, en la congregación se cuenta con preescolar, primaria, telesecundaria y telebachillerato, mientras que la universidad más cercana es la Universidad Veracruzana Intercultural en el municipio de Tequila (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019).

La economía de la población se basa en parte en el aprovechamiento de los bienes forestales de la congregación, a partir de los cuales se elaboran muebles, tablonés, carbón y leña como principal combustible para el hogar; y en la agricultura de temporal y la crianza de animales de traspatio para el autoconsumo. Otras actividades económicas importantes que desarrollan principalmente las mujeres son la artesanía de bordados con lana elaboradas en el telar de cintura, la alfarería, panadería y el cultivo de flores y quelites para su venta en otros municipios (Tlaxcala-Juárez, 2014; Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019). Estas actividades han quedado plasmadas en el escudo de la comunidad elaborado por Pablo Tlaxcala Tlaxcala (figura 11).



Los muebles que se elaboran son trasladados a diversos estados de la República como Quintana Roo, Campeche, Ciudad de México y Tabasco para su comercialización a cargo de hombres y jóvenes. Otra fuente de ingreso proviene del trabajo de los hombres como jornaleros agrícolas o albañiles en los estados de México, Baja California, Sinaloa, Sonora y Jalisco a nivel nacional y a los Estados Unidos y Canadá a nivel internacional (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019).

Figura 11. Escudo de la comunidad de Zacamilola. Diseño Pablo Tlaxcala Tlaxcala.

Historia ambiental de la comunidad de Zacamilola

Los y las integrantes del Comité Biocultural de Zacamilola han identificado diferentes momentos en la historia de la comunidad que implicaron una reconfiguración del territorio y paisaje. Entre las más importantes están: la adopción de la técnica tradicional de elaboración de carbón, la fabricación de muebles a base de madera de pino (*Pinus patula*), la electrificación y la extensión de los conocimientos en torno al aprovechamiento forestal y la carpintería. Por otro lado, de forma reciente la migración ha reconfigurado las relaciones sociales al interior de la comunidad, en el protocolo de la comunidad se relata lo siguiente:

En el siglo XIX, la población de Zacamilola trabajaba en el campo sembrando maíz, frijol y calabaza; además las mujeres se hacían cargo de los cuidados de los hijos y elaboraban artículos de barro. Para finales del siglo XIX y principios del siglo XX, gente de la parte del volcán (Pico de Orizaba) vino a la comunidad a enseñarles a realizar carbón para que lo pudieran usar y comercializar, llegando a ser una de las actividades económicas más importantes de la comunidad. El carbón era transportado hasta Tequila y Orizaba en bestias, por pequeñas cantidades, cuando se construyó la carretera, comenzaron a comercializar el carbón en cantidades más grandes; actualmente sigue siendo una actividad económica importante. Dentro de la comunidad también se desarrolló la cultura ovina; existían borregos criollos de la región que pesaban aproximadamente 50 a 60 kg, los cuales se caracterizaban por tener cuatro cuernos llamados “obispos”. Para identificar cada manada de borregos, a cada animal se le ponía un nombre. Los niños y las mujeres estaban a cargo del cuidado de las manadas y de cuidarles de depredadores como los coyotes. La lana de los borregos era aprovechada por las mujeres con la técnica de hilar con malacate, con los cuales producían textiles diversos de lana, como son las mangas, cobijas y el kuepinto (falda de lana con rayas blancas y negras) y el poch. Otros de los productos que se comercializaban desde la congregación, eran las cucharas de madera, que también se dejaban para uso propio. Antes de las actividades madereras, en los años 70 y 80, la gente de la comunidad salía a trabajar al corte de café en las zonas bajas de la región, así como al corte de caña en las zonas cálidas de Córdoba - Veracruz. Para los años 60 vinieron de Santa María, Puebla, los primeros serradores que enseñaron el uso de la sierra de mano en la

congregación. Esta sierra era metálica y dado que medía dos metros de largo, tenía que ser utilizada por dos personas. Con el uso de esta herramienta comenzaron a elaborarse algunos muebles, como bancos y vigas para la construcción de las casas. No fue sino hasta los años 70 que comenzó la elaboración de algunos artículos de madera. Las primeras personas que comenzaron a trabajar la madera fueron los señores Aurelio Tlaxcala y Gabriel Xicalhua, utilizando instrumentos rudimentarios como el escoplo, mazo de madera, garlopa, sapito, tlatecone y berbinquín. Ya con la introducción de la luz se fueron utilizando herramientas más modernas, como la sierra eléctrica para realizar cortes más finos. El señor José Ixmatlahua fue uno de los primeros vendedores de muebles de madera que salió a la región sur de la entidad, y comenzó la venta en lugares como Coatzacoalcos y en las zonas petroleras. En 1990 la comunidad recibió un apoyo por parte del INI (Instituto Nacional Indigenista) para poner en marcha un Taller de carpintería en Zacamilola, el cual contemplaba la participación de 350 socios, dotación de maquinaria, herramientas y un vehículo, así como la implementación de un vivero forestal. El señor Luis Ixmatlahua Xicalhua fue el que encabezó al Comité de Aprovechamiento, Fomento, Conservación y Protección Forestal, mismo que influyó en que toda la población comenzara a trabajar en esta actividad y a elaborar diferentes tipos de muebles de madera, así como la conservación de la naturaleza. Para los años 2000 algunas familias completas comenzaron a migrar a la zona norte del país para trabajar en los campos agrícolas en la pizca de jitomate, manzana, uva y otros productos. Hasta el año 2016 los varones comenzaron a migrar a otros países, principalmente Estados Unidos y Canadá, trabajando bajo contrato. En la actualidad algunas familias migran al corte de caña a Córdoba por 6 meses, con la facilidad de ir y regresar (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019, p.32).

Recientemente, en el contexto del programa Sembrando Vida, 50 productores y productoras de la congregación están siendo capacitados en técnicas de manejo de la pendiente como el uso del aparato “A” para el establecimiento a curvas de nivel de especies frutales: aguacate, manzana, durazno y ciruela como componente forestal del sistema agroforestal MIAF (Maíz Intercalado con Árboles Frutales) (datos obtenidos en campo). Uno de los requisitos para poder ser parte de este programa es destinar 2.5ha para el establecimiento de este sistema, no quemar los residuos y en su lugar amontonarlos en las curvas a nivel (figura 12). Este programa incentiva el uso permanente de la tierra en laderas que generalmente están distantes de los hogares y parcelas familiares (por los

requerimientos de terreno), lo que ha generado la búsqueda de alternativas y adaptaciones del programa por parte de campesinas y campesinos acorde a su conocimiento ecológico:

“Abrimos por primera vez allá para el programa de Sembrando Vida, esta es la segunda cosecha de maíz y todavía se dio, cuando ya estén grandecitos los pinos, ya no voy a sembrar. Nos enseñaron que vamos a sembrar en bolillo, antes no más sembramos así más cerquita y ahora a 3 metros... Si me ha funcionado poner la basurita así porque si queda el tlalabono, detiene el suelo. Antes no hacíamos así, antes lo juntábamos y lo quemábamos... A mí me gusta variado, de todo sembrar todo... Si todos los días vamos a sembrar ahí, ya no se va a dar. Es que la verdad no sé, a veces quiere las ingenieras, dice que donde ya lo metimos el terreno ahí, pues ahí hay que seguirle, pero si le hacemos así pues ya no se va a dar... Mi terreno pues vamos primero a tomar camión y luego a caminar 1 hora, es rumbo a Cacalotecatl, ahí por Tlaquilpa... También ya lo comprobamos allá no se da bien, le gusta el abono, que este cerca de nosotros, de los animales, también a estas plantas, quiere cerca de la casa... Yo siembro en el tlaltekochtli la ciruela y manzana, el aguacate se quemó vino la helada le dio mucho frio, tenemos que estudiar y como nosotros vivimos acá ya lo estudiamos y sabemos que se va a dar”. (Comunicación personal con L. Ixmatlahua).



Figura 12. Comunidad de Aprendizaje Campesina de Zacamilola como parte del programa federal Sembrando Vida.

VIII. Metodología

Para realizar este trabajo de investigación se solicitó el consentimiento previo e informado del Comité Técnico Comunitario del Protocolo Biocultural de Zacamilola y la aprobación de la Agente municipal de la comunidad.

La investigación constó de tres fases estrechamente vinculadas con los objetivos particulares planteados (figura 13). La primera, se aproximó a los conocimientos, sentires y pensares locales del suelo y del paisaje siguiendo el método etnográfico y la metodología etnoedafológica; la segunda, caracterizó los sistemas agroforestales y sus prácticas de manejo cualitativamente; y la tercera, estimó el almacén de carbono de distintos sistemas agroforestales ubicados en las distintas unidades de paisaje campesinas, a través de métodos cuantitativos y cualitativos.

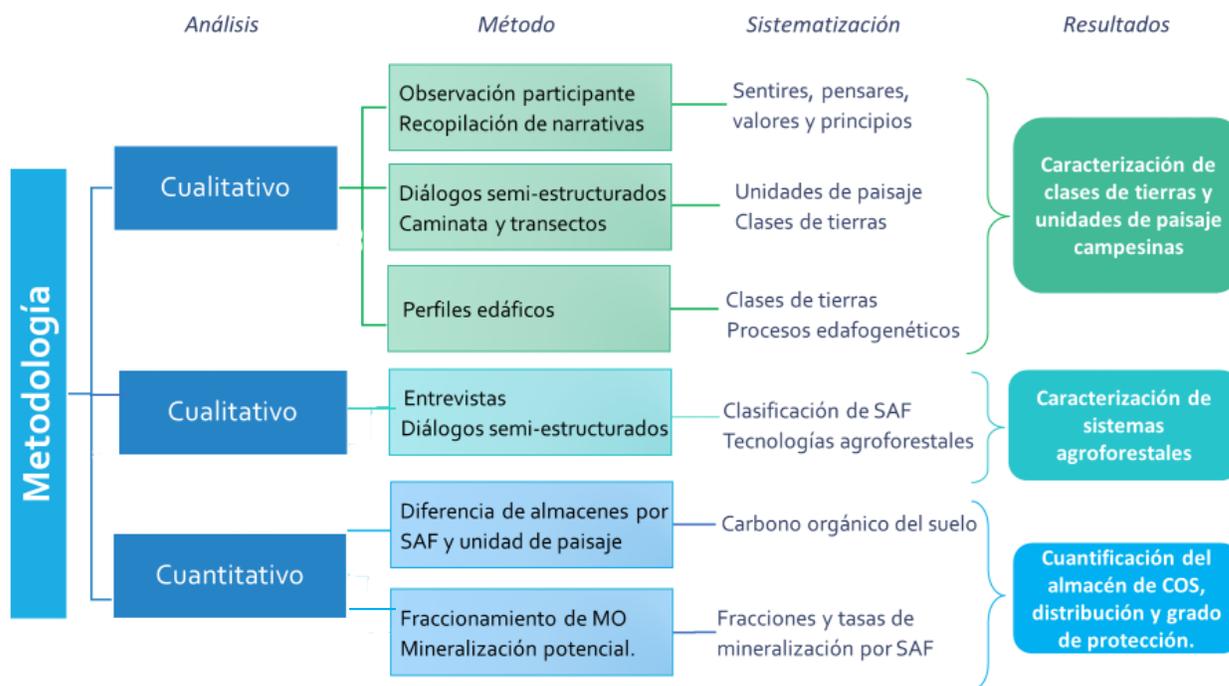


Figura 13. Metodología de la investigación. Cada fase de investigación utiliza metodologías particulares para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas. Los métodos y resultados esperados de cada fase se diferencian por color en el esquema.

Los resultados obtenidos de la investigación fueron presentados, compartidos y dialogados con las familias participantes e integrantes del Comité del Protocolo Biocultural de Zacamilola en distintas etapas de la investigación. Durante la fase de campo de la investigación se realizaron talleres de

elaboración de abonos orgánicos para el abonado de la milpa a petición de las familias participantes. Se desarrolló material gráfico y visual con ilustraciones de Karla Olvera que quedó al resguardo del Comité. Este material fue utilizado para presentar los resultados con las familias participantes e involucrarlas en su análisis, lo que generó reflexiones sobre las formas tradicionales y modernas de cultivar y trabajar el monte. Se elaboró un informe para cada familia con un diagnóstico de sus tierras y con las fotografías de sus perfiles de suelo; a su vez se dejó al resguardo del comité la información gráfica y visual, cuyo deseo fue enmarcar (figura 14).



Figura 14. Reunión con integrantes del Comité Biocultural de Zacamilola. 10 de agosto de 2022. Fotografía Carlos García.

A continuación, se describe cada una de las tres fases de la investigación y se especifican métodos, herramientas y análisis.

Conocimiento del suelo y del paisaje en la comunidad de Zacamilola

Delgado y Rist (2016, p.51) sostienen que “las características ontológicas del paradigma cualitativo establecen que el proceso de investigación y generación de ciencias y conocimientos debe considerar la naturaleza de lo que se quiere conocer, tanto en sí mismo como en el contexto donde

se desarrolla. Por tanto, los conocimientos y las ciencias están circunscritos a un contexto histórico y social, y a una determinada visión de mundo o cosmovisión. Ello determinará la escala de valores, el sentido, el por qué y el para qué de la investigación”.

Para entender a mayor profundidad los procesos geomorfológicos y edafológicos del suelo en la comunidad de Zacamilola, se partió del método etnográfico y el diálogo de saberes (Argueta-Villamar, 2011) para aproximarse a la dimensión práctica y simbólica del suelo o tierra y sus interacciones con las personas. En esta fase se utilizaron herramientas como la observación participante (Geilfus, 2002) en las actividades de preparación del suelo para la siembra, las ceremonias de agradecimiento para la tierra o *xochitlallis* y durante la siembra y la cosecha con las familias Ixmatlahua Tlaxcala, Juárez Ixmatlahua y Tlaxcala Juárez. Durante estos momentos compartidos se generó un diálogo e intercambio de saberes en torno a la importancia de la tierra para las familias en la vida cotidiana, los valores, sentires y pensares, las prácticas de manejo iniciales relacionadas con el establecimiento de la milpa y diferenciales según la topografía del terreno; y el manejo particular de la materia orgánica de los diferentes sistemas agroforestales visitados. Así mismo se recuperaron narrativas propias de la historia oral relacionadas con la tierra que aportaron luz al carácter relacional de esta interacción.

Se realizaron entrevistas, diálogos semi-estructurados (Geilfus, 2002; Expósito-Verdejo, 2003) de forma individual con las familias Ixmatlahua Tlaxcala, Ixmatlahua Ixmatlahua, Tlaxcala Tlaxcala, Colohua Ixmatlahua, Tlaxcala Juárez, Tlaxcala Bibiano, y Tlaxcala Ixmatlahua (figura 15). En su compañía se caminó el territorio recorriendo senderos y lugares de importancia como manantiales, cuevas y el banco de barro comunitario lo que permitió dialogar acerca de su importancia, historia ambiental, problematización y memoria colectiva (Geilfus, 2002). En el diálogo, la observación y la participación con la comunidad se aproximó a las clasificaciones regionales y locales de tierras: zonas climáticas a nivel regional, unidades de paisaje campesinas y clases de tierras locales en los límites de la Congregación Zacamilola.



Figura 15. Observaciones participantes, entrevistas semiestructuradas y recorridos por el territorio. Fotografía E. Uriel Echavarría.

Para sistematizar el conocimiento local con relación a las zonas climáticas de la sierra de Zongolica, se preguntó e investigó en la literatura las características ambientales, municipios y sistemas agroforestales asociados a ellas. Para las unidades de paisaje locales se identificaron sus características topográficas y geomorfológicas, así como los sistemas agroforestales y/o actividades encontradas en ellas (Pulido y Bocco, 2016). Por último, en cuanto a la clasificación local de tierras se identificaron sus características físicas como el color, textura y estructura, y la percepción de los propios campesinos y campesinas sobre ellas: su calidad o fertilidad y los problemas identificados (Ortíz-Solorio y Gutiérrez-Castorena, 2001; Barrera-Bassols y Zink, 2003; Pulido y Bocco, 2016).

Caracterización de sistemas agroforestales en las unidades de paisaje

De acuerdo con las unidades de paisaje campesinas diagnosticadas en la primera fase de campo (*tlaixtli*, *tekoachtli* y *tlalmanextli*), se seleccionaron seis sistemas agroforestales, dos sistemas en cada unidad (figura 16).

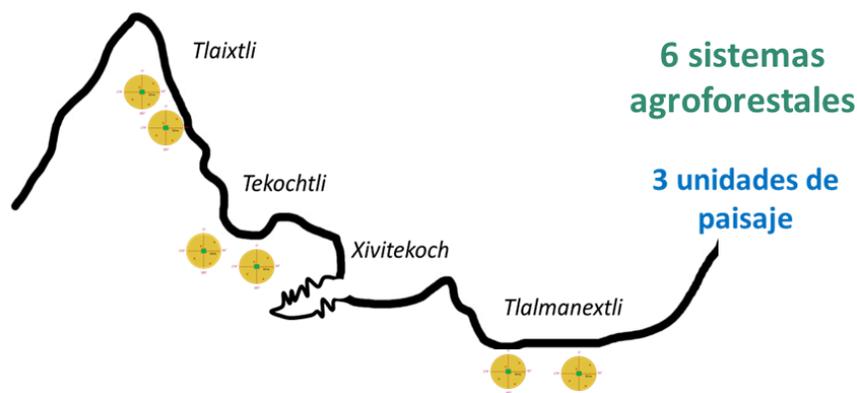


Figura 16. Sitios de muestreo distribuidos en las unidades de paisaje campesinas. Elaboración propia.

A través de entrevistas en parcelas se identificó la composición, estructura y diseño espacio-temporal general de cada uno, su antigüedad y el destino principal de la producción, para venta o autoconsumo. Se registraron las prácticas de manejo generales y se profundizó en las prácticas de manejo estrechamente vinculadas con la materia orgánica del suelo como: tipo de barbecho, fertilización y/o abonado, especies del componente forestal, manejo de arvenses, cobertura vegetal, periodos de descanso, pastoreo animal y manejo de plagas y enfermedades.

La categorización de estos sistemas se realizó apoyándose en los principios clasificatorios de Nair (1985) y tomó como guía la jerarquización y sistematización propuesta por Ospina (2004) quien diferencia entre sistemas, tecnologías y prácticas de manejo agroforestales. Los diseños espacio temporales de los sistemas agroforestales de la comunidad fueron ilustrados por diseños de Karla Olvera.

Almacén de carbono orgánico en el suelo en los sistemas agroforestales

Muestreo

Para comprender el efecto del manejo histórico del suelo y los procesos geomorfológicos presentes en cada sistema agroforestal y su impacto en el almacén de carbono orgánico del suelo se realizaron muestreos de suelo y descripción de perfiles edáficos en conjunto con las familias: Ixmátlahua Tlaxcala, Tlaxcala Ixmátlahua, Tlaxcala Tlaxcala, Ixmátlahua Tlaxcala y Juárez Ixmátlahua.

Primero se identificó el sitio y los posibles factores formadores. Siguiendo la metodología propuesta en el Manual de Evaluación de Suelos (CMES, 2020), se registró la ubicación y su altitud con ayuda de la aplicación móvil Brújula de PixelProse SARL, se registró la posición geomorfológica, forma de la pendiente y ángulo de inclinación del área a muestrear con ayuda de un clisímetro o nivel de Abney. A su vez, se caracterizó el sitio superficialmente buscando evidencias de erosión superficial, pedregosidad superficial y grietas.

Se procedió a la descripción del perfil edáfico abriendo una calicata ubicada en un área típica de cada unidad de paisaje (figura 17). La descripción de horizontes y la identificación de sus límites, se realizó con ayuda de las familias responsables del manejo quienes recurrieron a las clasificaciones locales de rocas y tierras para su descripción. A la par, tomando como referencia la guía para descripción de suelos de la FAO (2009) y el manual anteriormente citado, se registró la profundidad, estructura, pedregosidad, porosidad, color del suelo, textura y distinción entre límites de cada horizonte. Se identificó el horizonte pedogenético correspondiente y se tomaron muestras de suelo de cada uno para las posteriores determinaciones en el laboratorio.



Figura 17. Muestreo de horizontes del suelo. Identificación de horizontes, textura, estructura, y densidad aparente. Fotografías L.P Ruiz, Pablo Tlaxcala y Víctor Tlaxcala.

A continuación, se generó una unidad de muestreo circular concéntrica al pozo edafológico de 100m² donde se realizó un muestreo totalmente aleatorizado del almacén de carbono del mantillo y del suelo de los primeros 30 cm o capa “arable” del suelo para conocer el efecto del manejo actual. En cada unidad de muestreo se aleatorizaron 5 puntos de muestreo: uno de ellos

perteneciente al horizonte superficial de la calicata y los otros cuatro ubicados totalmente al azar en los cuatro gajos de 90° del círculo que se delimitó con ayuda de estacas y lazos a una distancia de 5.6 m del centro del perfil (figura 18). La distancia horizontal se vio afectada por la pendiente, por lo que fue necesario hacer el ajuste correspondiente de distancia, auxiliándonos con los factores de ajuste correspondientes (anexo 1).

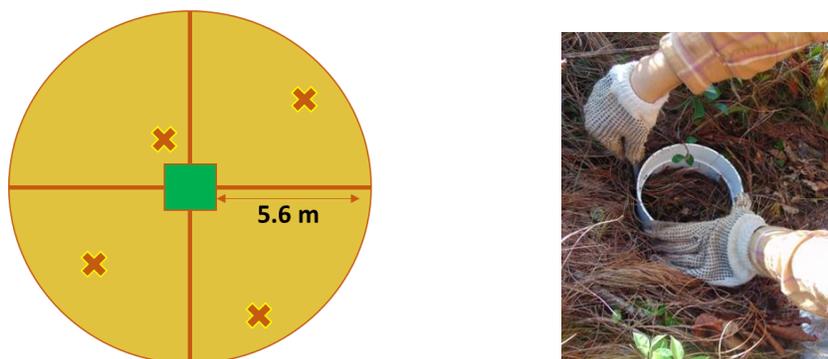


Figura 18. Esquema de parcela circular de 100m² y puntos aleatorios de muestreo de suelo, hojarasca y mantillo. Elaboración propia

Para aleatorizar los puntos, se utilizó la aplicación móvil Random Numbers, primero se aleatorizaron los 90° dentro de cada gajo de muestreo y luego la distancia horizontal respecto al centro en la que se tomó cada muestra. Se tomó la muestra de mantillo con ayuda de una subparcela circular de área conocida (codo de PVC de 17 cm de diámetro), el mantillo que quedó al interior del aro se cortó con cuchillo y se colectó en bolsas herméticas identificadas. Una vez descubierto el suelo, se tomó la muestra de suelo en la capa arable, la cual se envasó y etiquetó también en bolsas herméticas.

En cada punto de muestreo se procedió a tomar una muestra para densidad aparente a través de un cilindro metálico de peso conocido, la cual se colectó en una bolsa de polietileno. Las muestras de suelo y mantillo fueron conservadas en hieleras a una temperatura de 4°C para su posterior análisis.

Procesamiento de muestras

Las muestras de suelo y mantillo fueron trasladadas al Laboratorio de Materia Orgánica y Biogeoquímica del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México (UNAM) para la realización de los análisis fisicoquímicos y biológicos.

Análisis fisicoquímicos

a) Textura

Se determinaron las fracciones de arena, limo y arcilla de las muestras a través del método de sedimentación de la pipeta de Robinson. Se pesaron 20g de suelo previamente seco y tamizado en tamiz de 8" con malla de 2 milímetros de abertura y se pretrataron las muestras químicamente con peróxido de hidrógeno al 30% para eliminar la materia orgánica de las muestras que así lo requirieran, posteriormente se evaporó el peróxido y se dispersaron las partículas con 10 mL de hexametáfosfato de sodio 50g L^{-1} y agua destilada. Las muestras se vertieron en tubos Nalgen de 150ml y permanecieron en agitación constante por 24 horas. Al siguiente día fueron tamizadas en tamiz de 8" con malla de $53\mu\text{m}$ de abertura, donde se separaron y colectaron las arenas que quedaron sobre el tamiz. El agua destilada se evaporó en estufa a 105°C durante 24 horas y se pesaron en balanza granataria. Las fracciones de limo y arcilla que pasaron por el tamiz, fueron dispersadas en agua destilada y homogeneizadas en una probeta de 1 L, se dejaron sedimentar durante tres horas y cuarenta y ocho minutos, siguiendo la Ley de Stokes.

Posteriormente se tomó una alícuota de 25mL en un recipiente de aluminio previamente secado en estufa y pesado; y se metió a evaporar a sequedad en una estufa a temperatura de 105°C . Una vez evaporada el agua de la muestra se pesó el contenido de arcillas de la alícuota y se realizaron los respectivos cálculos para determinar las fracciones de arcilla y limo presentes en las muestras. Con la porción relativa de las fracciones se determinaron las clases texturales (figura 19).

La diferencia entre el peso original y el peso encontrado son atribuidos a la pérdida de material debida a los pre-tratamientos, pérdida por solución, pérdida por tamizado, etc. El peso de la muestra tratada se utiliza como base para calcular las fracciones de las partículas.

$$W_t = W_s + W_p + W_r$$

Donde:

W_t = Peso total de la muestra tratada

W_s = Peso seco a 105°C de las arenas

W_p = Peso seco a 105°C corregido de las muestras de suelo pipeteadas

W_r = Peso seco a 105°C corregido de limo y arcilla residual.



Figura 19. Determinación textural por método de la pipeta de Robinson. Sedimentación de fracciones de limo y arcilla y toma de alícuota

b) Humedad

La humedad del suelo puede expresarse gravimétricamente, con base en la masa, en unidades de kg kg^{-1} . Para cuantificarla se obtuvo el peso seco de 100 g de muestra de suelo y 20g de mantillo. Primero se quitaron raíces, troncos y piedras mayores a 2mm y se secaron en estufa Thelco a 90°C durante 72 horas, posteriormente se pesaron en una balanza analítica Ohaus (figura 20).

Para calcular la humedad gravimétrica se realizó la siguiente operación:

$$w = \frac{M_{ag}}{M_s} = \left(\frac{M_{sh} - M_{ss}}{M_{ss}} - 1 \right) 100$$

Donde el contenido de humedad gravimétrica (w), es igual a la masa del agua (M_{ag}) entre la masa de los sólidos (M_s) e igual a la masa de suelo húmedo (M_{sh}), entre la masa de suelo secado en estufa (M_{ss}) menos uno por cien.



Figura 20. Secado en estufa y tamizado de muestras.

c) pH y CE

Se midió el pH activo y la conductividad eléctrica en relación 1:10 para suelo y mantillo con los electrodos del medidor electroquímico Thermo Scientific Orion Versa Star. Para preparar las muestras se pesaron 5g de suelo fresco en vasos de Nalgen y se agregaron 50ml de agua MilliQ, en el caso de las muestras de mantillo se pesaron 2g de mantillo fresco y se agregaron 20ml de agua MilliQ. Las muestras de suelo y mantillo se agitaron por 30 min a velocidad de 180rpm. Se calibró el potenciómetro y se mantuvieron las muestras en agitación constante utilizando un agitador magnético para mantener la muestra homogeneizada durante la medición (figura 21).



Figura 21. Potenciómetro Thermo Scientific Orion Versa Star para medición de pH y conductividad eléctrica.

d) Densidad aparente

La densidad aparente del suelo (ρ_p) es la relación entre la masa o peso del suelo seco (M_s) y el volumen total (V_s), incluyendo al espacio poroso.

$$\rho_p = \frac{M_s}{V_s}$$

Para determinarla se siguió el método de muestreo en campo por medio de cilindros de acero de volumen conocido (117.8cm^3). Con ayuda de un martillo de goma y una superficie plana se introdujo suavemente el cilindro en los horizontes superficiales y a profundidad. En el laboratorio se secó el suelo en estufa a 90°C hasta alcanzar peso constante, el peso final se registró en balanza granataria Ohaus.

Se determinó el volumen del cilindro utilizando la siguiente fórmula:

$$V_t = \frac{D^2 \pi}{4} h$$

Donde V_t es el volumen de la muestra, D es el diámetro del cilindro, h es la altura del cilindro, y posteriormente se realizó el cálculo para obtener la densidad aparente.

e) C total

Para el análisis de nutrientes, las muestras secas se tamizaron, molieron y homogenizaron en molino mezclador RETSCH MM400 (figura 22). El C total se determinó por coulometría,

utilizando un coulómetro marca UIC CM5017 (figura 23). Al calcinar de 0.005 a 0.009 g de la muestra de suelo se genera CO₂ que pasa a la celda del coulómetro y es cuantitativamente absorbido, reaccionando con monohetanolamina formando un ácido indicador titulable. El fotodetector del coulómetro monitorea los cambios de color de la celda como porcentaje de transmitancia, cada Faraday de electricidad expedida es equivalente a un gramo equivalente de peso de CO₂ titulado. Para los suelos no calcáreos, con pH no alcalinos, el C total es equivalente al C orgánico del suelo.



Figura 22 y 23. Molino mezclador RETSCH MM400 y Coulómetro UIC CM5017

Para la estimación del COS (carbono orgánico del suelo) por horizonte en toneladas de carbono por hectáreas se utilizó la densidad aparente, el espesor del horizonte y el carbono orgánico determinado. Para las muestras de la capa arable se utilizarán los datos del primer horizonte.

$$COS = (DA)(p)(COSp)$$

Donde el COS está expresado en ton C ha⁻¹, la DA es la densidad aparente del suelo total (ton m³), p es el espesor del suelo (cm) y COSp es la fracción de carbono en %.

El almacén de carbono fue reportado en unidades de masa equivalente, para evitar la influencia de los distintos estados de compactación que involucra monitorear suelos de distinto peso y por ende densidad aparente de acuerdo con la metodología de la FAO (2020).

f) N y P totales

En el caso del mantillo las muestras secas se tamizaron, molieron y homogenizaron en molino mezclador RETSCH MM400 y ambos nutrientes se determinaron por colorimetría utilizando el método de Semi-Kjendahl para N que incluye las formas orgánicas e inorgánica (Jackson, 1982) y el método de Murphy y Riley para P (1962)

g) Mineralización potencial de C

Se determinó la cantidad de CO_2 liberado por unidad de tiempo consecuencia de la actividad microbiana heterótrofa que hay en el suelo y el mantillo. Para ello se incubaron 2 g de mantillo y 100 g de suelo en una atmósfera cerrada junto con viales con solución de hidróxido de sodio 0.5N a 25°C por 24 hrs, 5 o 7, 11 y 15 días. En cada tanda de titulación la solución de hidróxido de sodio (NaOH) fue adicionada con cloruro de bario (BaCl_2) y 3 gotas de fenolftaleína para poder ser valorada con ácido clorhídrico (HCl) al 0.5N, registrándose el gasto de HCl requerido (figura 24). Se realizó una conversión para determinar los moles de Na_2CO_3 y con ello una estimación de los μg de C respirados por día ($\mu\text{gC g}^{-1} \text{d}^{-1}$).



Figura 24. Frascos herméticos para incubaciones de suelo y de mantillo. Titulación de NaOH, BaCl_2 y fenolftaleína con HCl 0.5N.

h) Fraccionamiento de materia orgánica

Se obtuvieron muestras compuestas de 10g de suelo fresco del primer horizonte de suelo de los seis sistemas agroforestales que fue fraccionada físicamente por su densidad utilizando metatungstato de sodio con una densidad de 1.8 g cm^{-3} . Estas muestras se agitaron y centrifugaron

a 6000 rpm a 8°C por una hora para separar la fracción orgánica particulada libre que quedó sobrenadante, el metatungstato se separó de la fracción a través de filtrados al vacío con una membrana de 0.45 μm . A continuación, la pastilla de suelo asentada en el fondo continuó en agitación durante 16 horas y se centrifugó una vez más a 6000 rpm por una hora a 8°C para obtener la fracción orgánica particulada ocluida, el sobrenadante se decantó y filtró al vacío y la pastilla asentada se agitó con agua MQ por 30 minutos y se centrifugó una vez más a 6000 rpm por 30 minutos para obtener la fracción orgánica asociada a minerales. Esta última fracción se agitó vigorosamente para tamizarse por un tamiz de 62 μm , obteniendo fracciones una $<62 \mu\text{m}$ y otra $>62 \mu\text{m}$ (figura 25).

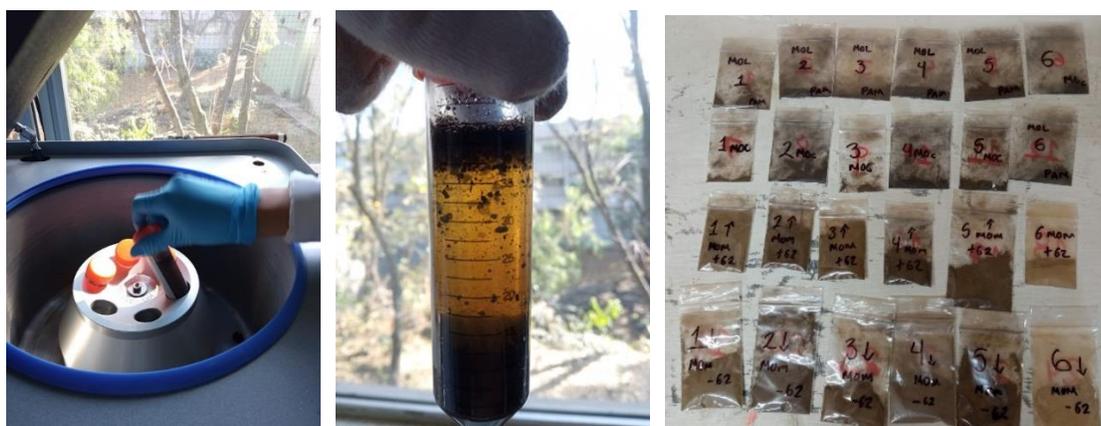


Figura 25. Fraccionamiento físico por densidad de partículas con metatungstato de sodio. Centrifugadora y fracciones resultantes de seis sistemas agroforestales.

Análisis de datos

Para comparar estadísticamente la varianza entre las medias de los parámetros fisicoquímicos, almacenes de C, N y P y los cocientes de nutrientes en el mantillo se utilizaron análisis de varianza unidireccional (ANOVA) por unidad de paisaje y sistema agroforestal. Se comprobó la distribución normal y lineal de los datos a través del análisis de la asimetría y kurtosis y la prueba de Shapiro-Wilks y se realizaron comparaciones por pares de las medias marginales estimadas utilizando el procedimiento Post Hoc con la corrección de Tukey. En el caso de que no se cumpliera el supuesto de homogeneidad de varianza con la prueba F de Levene, se utilizó la prueba de Welch para los análisis subsiguientes y el procedimiento Post Hoc de Games Howell con la corrección de Tukey.

IX. Resultados

1. Tlalli ipan Zacamilola. Suelo y paisaje en Zacamilola

Las comunidades de la sierra de Zongolica tienen una larga ancestralidad habitando sus tierras y montes. Esta sierra fue una zona de refugio para las migraciones de los nonoalcas chichimecas comandadas por el señorío *Chalchihkala Tzonkolihuikeh* o gente de la casa verde esmeralda de jade o los de pelo torcido, quienes llegaron después de la caída del imperio del Tollan o más conocido como Tula (posteriores al año 1200 e.c.) (Aguirre Beltrán, 1987). A lo largo de los más de trescientos años que este pueblo habitó la sierra, antes de la llegada de los españoles, se gestaron relaciones históricas con el suelo, las plantas, animales, y todos los bienes naturales que le rodeaban. Así se generó una interrelación humano-naturaleza particular e inseparable, que se manifestaría en las diversas estrategias agroecológicas para la producción de bienes y alimentos.

Con la colonización y su institucionalización, se impusieron valores y principios basados en una epistemología y ontología occidental profundamente influida por la tradición judeocristiana, fundamentalmente antropocéntrica, en la que el hombre es, distinto y superior a la naturaleza, y la naturaleza un satisfactor de sus necesidades (Lynn White cit. por Arnold, 2000). Esto trajo consigo la superposición de territorialidades o formas de pertenecer a un mismo ecosistema, que reconfiguraron el paisaje y las formas prehispánicas de uso de la tierra (Hidalgo-Ledesma, 2016; Sutter, 2014). A la zona se introdujo el cultivo de tabaco y algunos años después el cultivo de café con lo cual la sierra entró a la dinámica del mercado colonial (Aguirre Beltrán, 1987).

Posteriormente con la consolidación del proyecto de estado-nación mexicano se implementó la aculturación integrativa orientada a la unidad cultural de manera sistemática, a través de instituciones integracionistas y disciplinarias. Este proceso privilegió el crecimiento económico, la productividad y la transmisión de conocimientos científicos, la homogeneización lingüística, el bilingüismo unidireccional, el trabajo asalariado, la homogenización de valores y prácticas religiosas, y la desestructuración de las antiguas organizaciones socioterritoriales indígenas (CEMDA, 2020; Barrera-Bassols y Floriani, 2018).

En la sierra de Zongolica se transformaron y adaptaron de forma dinámica prácticas, saberes y técnicas del manejo de la agrobiodiversidad de la sierra, así como los imaginarios y representaciones simbólicas de la naturaleza, resistiendo a la monocultura de racionalidad económica-instrumental,

que dio como resultado las nuevas identidades territoriales que actualmente existen (Hidalgo-Ledesma, 2014).

El paisaje de la sierra se trata entonces de una entidad paisajística territorial que ha sido producto de fuerzas internas y externas, locales y globales en constante dinamismo (Barrera-Bassols y Floriani, 2018). Dichas fuerzas han impulsado la introducción de cultivos comerciales y de ganado mayor, políticas de rentismo extractivistas, la tala ilegal de bosques, los programas de desarrollo agrícola y forestal, la introducción de nuevos cultivos para el mercado, la migración y las reformas agrarias que dieron pie al minifundismo (Sierra-Hueslsz et al., 2020; Hidalgo-Ledesma, 2016).

Por otro lado, ha sido producto también de fuerzas, visibles y no, que buscan reivindicar la cultura del monte, la ritualidad como amor a la tierra, la educación intercultural, los esquemas de reciprocidad y comunalidad y la organización local para garantizar el acceso y uso de los bienes de la sierra (Tlaxcala-Juárez, 2014; Hidalgo-Ledesma, 2016; Protocolo Biocultural de Zacamilola, 2019). Dichas fuerzas nacen principalmente “por las ganas de seguir sembrando” (R. Ixmatlahua, comunicación personal, julio 2021) y reproduciendo prácticas de cuidados para la familia, para la tierra, para la comunidad.

Este capítulo pretende acercarse a los marcos conceptuales propios de la comunidad de Zacamilola para abordar el paisaje y el espacio, y con ello a la geomorfología de la región y sus clasificaciones regionales y locales de tierras. Así mismo busca aproximarse a los sistemas agroforestales que han sido configurados en relación con el espacio y producto de las diversas identidades territoriales de la región.

1.1. El concepto nahua de *tlalli*

Cuando miramos a nuestro alrededor en la tierra, lo que vemos está coloreado por nuestra visión del mundo y los lenguajes que usamos para describir nuestras observaciones.

-Robin Wall Kimmerer-

La tierra que se nombra no es sólo suelo, insumo, sustrato o ubicación geográfica, cuando se ha tejido una historia de vida y una memoria colectiva entrelazada con tal o cual elemento natural, este deja de ser objeto para convertirse en sujeto capaz de recordarnos, inspirarnos a su cuidado, protección, y dado el caso, a su defensa (Basso, 1988; Jiménez, 2019).

Para los nahuas de Zacamilola la tierra es el centro de la vida, madre y padre donde habita el *tlalokan nana* y *tlalokan tata*, la tierra que escucha y actúa en su capacidad volitiva y soberana. A través de su mirada, la tierra no es un bien simplemente explotable, sino un conjunto de relaciones y responsabilidades basadas en el respeto y en el cuidado. Entre los múltiples cuidados que se generan con la tierra, y quizás uno de los más importantes, están los *xochitlalilistli*, ceremonias para pedir permiso y perdón a la tierra por modificarla al iniciar la siembra, al construir una casa, aperturar un pozo de barro o realizar un horno de carbón, así mismo los *xochitlalilistli* se realizan para agradecer las cosechas e incluso en actos políticos comunitarios, como la inauguración de escuelas o apertura de caminos.

Esta ceremonia llena de simbolismos “*es una convivencia para saludar y pedir con mucho respeto a tlnantzin y tlaltahtzin, tlalokan nana y tlalokan tata*” para “*dar un recuerdo y un afecto a quien nos da la vida, se le agradece trayéndole la flor, por medio del tzompiltek, el xochitlamanalli (envuelto de flores), las velas de cera, el xochipotontli o xochipayanalli (pétalos de flores), el aguardiente para cerrar el trato, las imágenes de los santitos para pedirles buenas cosechas, el copal para sahumar y bendecir el achtli (semillas)*” (Roberto Ixmatlahua, Omar Ixmatlahua y Julia Tlaxcala, comunicación personal, marzo de 2021).

Los *xochitlalilistli* son diálogos directos con las diversas entidades no humanas protectoras de la vida y de las siembras que de forma sincrética cohabitan y conviven con entidades religiosas

católicas como los santos. A continuación, se presenta un fragmento del *xochitlalilistli* presenciado el 26 de marzo de 2022 en la parcela de Julia Tlaxcala y Roberto Ixmatlahua celebrado por José Guadalupe Tlaxcala Bibiano durante las labores de siembra del primer ciclo de milpa posterior al aprovechamiento forestal. La plegaria completa que fue traducida al español por María Florencia Tehuintle Cuicahua puede leerse en el anexo 2 de esta tesis. Los nombres de aquellos no humanos y lugares mencionados fueron recuperados en el idioma náhuatl en el texto junto con la traducción complementaria al español, debido a que los nombres genéricos como monte, loma, río, etc., no reflejan la particularidad y riqueza descriptiva de los significados que un idioma aglutinante como el náhuatl refiere.

Ave María purísima aquí en la presencia del Padre celestial y la Virgen vengo ante su presencia *tlalnanzin* en este día y a esta hora casi a las 3:00 de la tarde. Le hablo a usted madre tierra, a nuestro Dios Jesucristo creador, aquí venimos a saludarlos, traemos estas sagradas siete semillas por nuestros siete sagrados días de trabajo, traemos calabaza y frijol, vea usted madre tierra sagrada, venimos ante usted y a su presencia en esta grande barranca *weyi komolkotekatl*. Estoy frente a ti, tú que eres mi padre y mi madre, en este día 26 del mes de marzo le hablo a usted con un sahumero de bienvenida para que venga usted, con esto le venimos pidiendo permiso para que aquí en su frente pongamos estas siete semillas de frijol y papa... Ave María purísima, ya tiraron su traje, trozaron los árboles, cortaron la hierba y juntaron la leña, que es como cortarle su pie o su mano y la rasparon para sembrar, pero no se entristezca, que no le duela su corazón, hoy le traigo una luz y estas siete sagradas semillas de frijol y calabaza, usted que les va a dar a los hijos del patrón Dios San José los alimentos, pues todos nosotros tenemos hambre y sed, todos anhelamos una santa comida, aquí ante usted me hincó y le pido que nos perdone por favor por todo... En este día les hablo a ustedes *tlalokan nana* y *tlalokan tata*, a los diez montes *kiawtekatl* y a la sagrada Malinche *istakmalintzintekatl*, señora blanca del pico de Orizaba *ixtaktepetekatl* y a usted quién envía los truenos *wewehtekatl*, a los dioses y guardianes de los relámpagos *tlapetlanitzintih* y *tlakomoltzintih*, a ustedes santa *lagunatekatl* y al arcoíris *koselotzintekatl*, a ustedes quienes envían el tiempo y la hora, ustedes mandaran el agua para esta santa siembra para que retoñen las semillas; usted santa laguna, santa loma arcoíris *koselotzintekatl* a todos ustedes les pido que vengan y los menciono ante la presencia de nuestra

madre tierra. A ustedes padres dueños del monte *sakatetekatl* e *ichkalkotekatl* cerros ustedes que son nuestros queridos padres son observadores, también *ixtolapantekatl* y *kakalotekatl* ustedes resguardan a los comunicadores de los truenos *tlakomoltzitzinti*, relámpagos *tlapetlanitzitzintih* y quienes envían el aguanieve *ahwachtzetzelotzitzinti*, todos juntos vengan y reciban esta ofrenda y convivan con la madre tierra. Aquí hice y puse una santa cruz y en su presencia los invito y le hablo a todos ustedes padres, al cerro *tzonkolkotekatl* y a ustedes sagradas lomas *tepexakualkotekatl* y a los dueños y guardianes de los árboles *tlatzkayotekatl*, a ustedes que son como nuestros padres en este día les hablo y mando a llamar. Y a usted Jesucristo Dios que le diste este trabajo a San Miguel Arcángel y dejaste todo puesto en este mundo, ahí están los santos manantiales santa *amanaltih*, lagos y lagunas, el agua querida *atzintli* ahí está y de ahí enviaran los truenos *tlakomoltzitzinti* y relámpagos *tlapetlanitzitzintih* a ustedes padres donde surgen los truenos y dueños de todos los montes *koyoapantekatl* y *okotlakapantekatl* y a ustedes *tlalokan nana* y *tlalokan tata* que dan paso al agua *weyipantekatl* y al dueño de las lagunas *xokotewiapantekatl* ahí donde están las aguas sagradas aquí en este momento los llamo y les ruego que vengan.

La petición del *xochtlalilistli* es localizada y territorializada, hace referencia a los nombres de todos aquellos montes, lagunas, mares, manantiales y seres que son partícipes de la coproducción de las siembras y cosechas y cuyas voluntades determinan a la parcela y la circunscriben a un lugar geográfico y simbólico particular. En la plegaria se habla del cuerpo de la tierra, equiparable al cuerpo humano, sujeto de sensaciones placenteras o dolorosas, sujeto de dignidad y de respeto; el cuerpo de la tierra es aquel cuerpo-territorio dónde las acciones y voluntades humanas y no humanas confluyen y se materializan.

Cuando se habla a la tierra *tlalnatzin* o *tlaltikpaktli* en los *xochtlalilistli* como entidad sintiente y pensante, se está referenciando una relación social con protocolos específicos que expanden el concepto de comunidad a seres no solamente humanos. Se trata de una ontología relacional en la cual el mundo biofísico, humano y supernatural no se consideran como entidades separadas, sino que se establecen vínculos de continuidad entre ellos (Escobar, 2010).

Una vez concluida la ceremonia, las semillas bendecidas son sembradas el mismo día por la familia, principalmente jóvenes y hombres, mientras que las mujeres hacen la comida con tortillas, atole de

piña y caldo de pollo o gallina para celebrar este acontecimiento. Si la parcela es lejana al hogar ellas llevan la comida para los sembradores y se celebra en el campo (figuras 26 y 27). Ellas platican que la gente de antes sacrificaba un pollo como parte de la ofrenda a la tierra en el *xochitlalilistli*, ahora dicen mientras ríen, “*también lo sacrificamos, pero nos lo comemos*” (J. Tlaxcala comunicación personal, marzo, 2021). La comida se acompaña de cervezas o fermento de caña llamado “castila”, anteriormente se tomaba también pulque, pero con la disminución de las poblaciones de agaves en la zona, se abandonó esta tradición.



Figura 26. Siembra de milpa, marzo de 2021. Flores para la tierra, semillas bendecidas con pétalos de flores.

José Guadalupe Tlaxcala Bibiano, nos narró un cuento para explicarnos porqué se pide perdón y permiso antes de la siembra:

“Un cuento dice que la tierra grito cuando trabajaba con la yunta San Marcos y San Isidro... dice que ocupó que barbechará la tierra y ahí vio que la tierra estaba gritando. Entonces regresa y dice el yuntero: - ¿Quién grita? - y la tierra le dijo: - Mira ¿qué cosa van a hacer acá? ¡¿Por qué me perjudican?! ¡Porque a mí me duele, me están raspando mi cuerpo, mi piel! -

Entonces contestó San Marcos, - No sé, pero me dijo el señor San Isidro, ahora le llamo. –

Trajo al señor San Isidro y la tierra le dice: -Pero mira qué tanto ya me raspaste aquí, ya me lastimaste aquí, mira yo quiero mis flores, mis velas, mi ofrenda y me dices que cosa vas a hacer.

- ¡Pero mira, perdóname! ¿Qué quieres? -Ahora sí, pidió perdón- lo que tú quieras, aquí te traigo tus velitas, tu copita, tus florecitas, mira vamos a hacer este trabajo. Dijo la Tierra Madre: -Bueno, si les voy a cumplir, pero mira qué cosa vas a hacer, ¡ahí no!, mejor aquí. Entonces la voltearon - así ya no la lastimaban porque estaba acostada- ¡Así aprendió San Isidro! ¡Así pasó!” (José Guadalupe Tlaxcala Bibiano y Tomás Tlaxcala Tlaxcala, comunicación personal, octubre de 2021).



Figura 27. Siembra de milpa, marzo de 2022. Petición de *xochitlalilistli* en la parcela por José Guadalupe Tlaxcala, caldo de gallina en la parcela preparado por Julia Tlaxcala, Verónica Ixmatlahua y Eugenia Ixmatlahua después de las labores de siembra.

La narrativa que nos cuenta don José es un diálogo entre los santos Marcos e Isidro, el santo sacerdote y el santo labrador con la entidad femenina de la tierra, la Tierra Madre, sobre una responsabilidad conjunta que es el cultivo, en una especie de consentimiento previo, negociación y acuerdos voluntarios tomados entre las partes para lograr un objetivo común.

El mensaje que nos transmite es trascendente si tenemos en cuenta que, como la epistemología ambiental ha insistido, la crisis ecológica en la que nos encontramos se trata de una crisis de racionalidad ambiental y de la ontología dualista de la modernidad, en la que la naturaleza se escinde de la cultura, y las relaciones se dan entre individuos, sujetos y objetos. Para las ontologías relacionales, no existe el individuo como tal, sino personas en continua relación con todo el mundo humano y no-humano, y a lo largo de los tiempos (Escobar, 2010). Como nos recuerda Giraldo y Toro (2020) *“el autoentendimiento como seres interrelacionales, y la identificación del “yo” con la totalidad, es la base para que se impulse el cuidado, no por altruismo, ni por un “deber ser” moral, sino porque el cuidado de lo demás hace parte del interés de la propia existencia”* (p.26).

Los sistemas agroalimentarios intensivos y producto de la Revolución Verde, son una prueba de ello, la tierra o suelo son vistos como un insumo más de la producción de bienes materiales para la alimentación humana. Al respecto, reflexionaba Tomás Tlaxcala Tlaxcala:

“... por ejemplo, si ahorita van a trabajar en una empresa, si los contratan ahí, eso se podría hacer, se podría promover, que se pida permiso, que lleven al que sabe hacer xochitlalis, porque ahora eso se hace sin respeto. Si alguien pregunta que cómo voy a hacer, no quita nada, no afecta nada si se hace... Los viejitos le hablaban al dios de la lluvia, a tlalokanana y tlalokantata, era mamá y papá, le pedían permiso para que nazcan sus hijos, todo lo que está sobre la tierra, son hijos de la tierra. No estaban fuera del contexto, estaban en el mismo, pero de otra manera, ahorita si nos esforzamos la juventud más que nada... los abuelitos se van acabando, se va perdiendo.”

Algunas familias han dejado de practicar los *xochitlalilistli*, otros los practican en la intimidad de su casa y algunos más, a la usanza tradicional, en el monte, las cuevas o parcela. En los últimos años esta celebración ha sido retomada y folklorizada por algunos ayuntamientos municipales de la región como atracción turística, donde cada primer viernes de marzo se realizan grandes eventos

abiertos al público en las cuevas del *Tzontikonmostok* o “Cueva de los cráneos” para los municipios de Magdalena y de Tequila y en la cueva de Totomochapa en Zongolica (figura 28).



Figura 28. Celebración del Xochitlalilistli en Tzontikonmostok, Tequila, Veracruz. Cortesía del ayuntamiento de Tequila 2018-2021.

La celebración de los *xochitlalilistli* en las cuevas u *ostotl* tiene larga tradición en la sierra (Rodríguez-Rojas, 2003; López-Austin, 2004), desde tiempos inmemorables son consideradas interfase entre la vida sobre la tierra y debajo de ella (figura 29), morada de *tlalokan nana* y *tlalokan tata*, unión entre el *geos* y el *bios*, lo no vivo y lo vivo, y como puente de comunicación entre los seres no-humanos con los humanos. Dice Rodríguez (2010) que el *Tlalokan* es receptáculo de manantiales y fuentes de humedad, ámbito de la fertilidad agrícola, cuna de los animales y vegetales silvestres donde habitan los señores del *tlalokan* quienes, ayudados por las otras parejas de dueños de lugares, resguardan los bosques, cerros, cuevas y manantiales.



Figura 29. Cueva de Tzontikonmostok y ofrenda de flores en su interior, Tequila, Veracruz.

1.2. Clasificación regional y local de la tierra

La profunda relación con la tierra o *tlalnantzin* se expresa no sólo en los detalles y las ofrendas, sino también en el variado conocimiento y generación de categorías propias para el entendimiento de sus procesos, gama de saberes-haceres que dan pie a sistemas agroforestales, adaptados a entornos considerados como frágiles y vulnerables.

El conocimiento nahua del espacio se condensa en unidades geomorfológicas locales, clasificaciones regionales y locales de tierras, topónimos y una gran variedad de elementos comunicativos sobre el paisaje como las narrativas. Estos actos comunicativos sobre el paisaje son construcciones sociales que se distinguen por un conjunto de atributos físicos y asociaciones culturales que los marcan como únicos, manifestaciones personalizadas de una perspectiva compartida sobre la condición humana (Basso, 1988).

Basso (1988) dice que los miembros de las comunidades locales se involucran al menos de tres formas distintas con su paisaje geográfico, alternando y combinándolas libremente. Primero, pueden observarlo según su interés, reparando en aspectos de su apariencia y los sucesos dentro de él; segundo, pueden utilizarlo al realizar una amplia gama de actividades físicas y modificarlo y tercero, pueden comunicarse sobre el paisaje, formulando descripciones y otras representaciones del mismo que comparten socialmente. Son en los actos comunicativos de representación topográfica, dónde se evocará los instrumentos conceptuales con los que las comunidades interpretan su entorno.

Estas representaciones y descripciones tienen una base histórica que se nutre de la memoria, la historia oral y la memoria colectiva, que se actualiza permanentemente en las narrativas y prácticas cotidianas. Es conocimiento encarnado, corporizado y situado histórica, geográfica, social y culturalmente (Jiménez, 2019).

1.2.1. Clasificación regional de tierras

En la sierra de Zongolica las comunidades han regionalizado el territorio en zonas climáticas: *tlaseeya* o tierra fría y *tlatotonil* o tierra caliente. Estas regiones contrastan por su temperatura, humedad, vegetación y agroecosistemas, así mismo pueden asociarse a determinados municipios a un determinado rango altitudinal (tabla 1). Esta clasificación es ampliamente conocida por los

habitantes de la sierra de Zongolica y es comúnmente utilizada al hablar de otros lugares dentro de la sierra. La congregación de Zacamilola pertenece a *tlaseseya*, es decir, tierra fría.

Tabla I. Zonas ecológicas regionales en la sierra de Zongolica.

Clase regional de tierras	Altitud	Caracterización ambiental	Vegetación	Sistemas agroforestales	Municipios
<i>Tlaseseya</i>	> 1800 m.s.n.m.	Laderas escarpadas templadas y húmedas, con temperaturas frías en invierno.	Bosque mixto de pino-encino Bosque mesófilo de montaña.	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultura itinerante • Agrobosques • Cultivo de pino • Huertos familiares • Milpa 	Atlahuilco, Tehuipango, Soledad Atzompa, Tlaquilpa, Tequila.
<i>Tlatotonil</i>	800 a 1700 m.s.n.m	Laderas y llanuras con altas temperaturas y humedad.	Selva alta y selva mediana perennifolia.	<ul style="list-style-type: none"> • Cafetal diversificado • Platanar diversificado • Milpa 	Zongolica, Mixtla de Altamirano, Tehuacán.

En el mercado de los domingos en Zongolica y en Tequila, los productores y productoras de ambas regiones confluyen para vender e intercambiar sus cosechas, proporcionando variedad de alimentos de ambas zonas climáticas a los consumidores de los tianguis. Esta regionalización es y ha sido un referente para hablar de los ciclos y temporadas agrícolas en la sierra y para notar cambios en el presente y futuro. Por ejemplo, en la tierra fría se conoce que el cultivo de maíz demoraba seis meses para cosechar elotes, de marzo a septiembre, ahora sus habitantes han notado un cambio en el régimen climático, pudiendo cosechar desde agosto.

1.2.2. Topónimos

En la congregación de Zacamilola los nombres de lugares o topónimos son característicos para nombrar localidades, parcelas, manantiales, cuevas, cerros, caminos y colonias. La toponimia expresa la memoria del lugar, memoria colectiva que expresa relaciones íntimas con el espacio (Mavisoy-Muchavisoy, 2018).

Keith Basso (1988) dice que: “...los nombres de lugares se encuentran posiblemente entre los símbolos lingüísticos más cargados y ricamente evocadores de todos. Debido a su conexión inseparable con localidades específicas, los nombres de lugares se pueden usar para convocar

una enorme gama de asociaciones mentales y emocionales, asociaciones de tiempo y espacio, de historia y eventos, de personas y actividades sociales, de uno mismo y etapas en la propia vida”, continúa diciendo que la potencia de los nombres de lugares radica “...en su capacidad de evocar, en su poder compacto de reunir y consolidar tanto de lo que del paisaje se puede tomar para representar tanto en términos personales como culturales; los topónimos adquieren un valor funcional que fácilmente coincide con su utilidad como instrumentos de referencia.” y concluye que: “...los nombres de lugares proporcionan los materiales necesarios para generar resonantes puntos suspensivos, para hablar y escribir en taquigrafía potente, comunicando mucho mientras se dice muy poco”.

Zacamilola, posiblemente del náhuatl *zacamilolli* o “rollos de zacate” utilizados anteriormente como techos, nació con los primeros habitantes que conformaron los barrios originarios de *Tlalmankan* o “tierra plana”, *Tlalixko* o “cara de la tierra” o “tierra empinada” y *Kapoltitla* o “lugar de los capulines” (Tlaxcala-Juárez, 2014). En la actualidad está conformada por cinco barrios o localidades que son: *Mantzanostla* o “lugar donde se dan las manzanas”, el centro de Zacamilola que incluye a *Tepikxitla*, del náhuatl *tepetl* e *ixithl* “pie del cerro” y Tlaltempan, del náhuatl *tlalli*, *ipan* “en la orilla de la comunidad”; Macuilquila, del náhuatl *makuilli* y *kilitl* que significa “5 quelites”; Xibtla del náhuatl *xiwitl* que significa “lugar de plantas”; Uitziquiapa del náhuatl *wuitzilín* y *apan*, “lugar de los colibrís en el agua” y Abaloma-Cuatla; del náhuatl *awatl* y *kuawitl*, que se nombró así porque antes había un encino grande en la loma, y por ser un “lugar de muchos árboles” (Tlaxcala-Juárez, 2014; Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019).

Nombres importantes para la comunidad son *Kakalotekatl* o “cerro de cuervos”, *Kakalostok* “cueva de cuervos”, Zoquititla “lugar de barro” y lugares donde nace el agua como *Weyapan*, *Wuitzikiapan*, *Tenayapan*, etc.

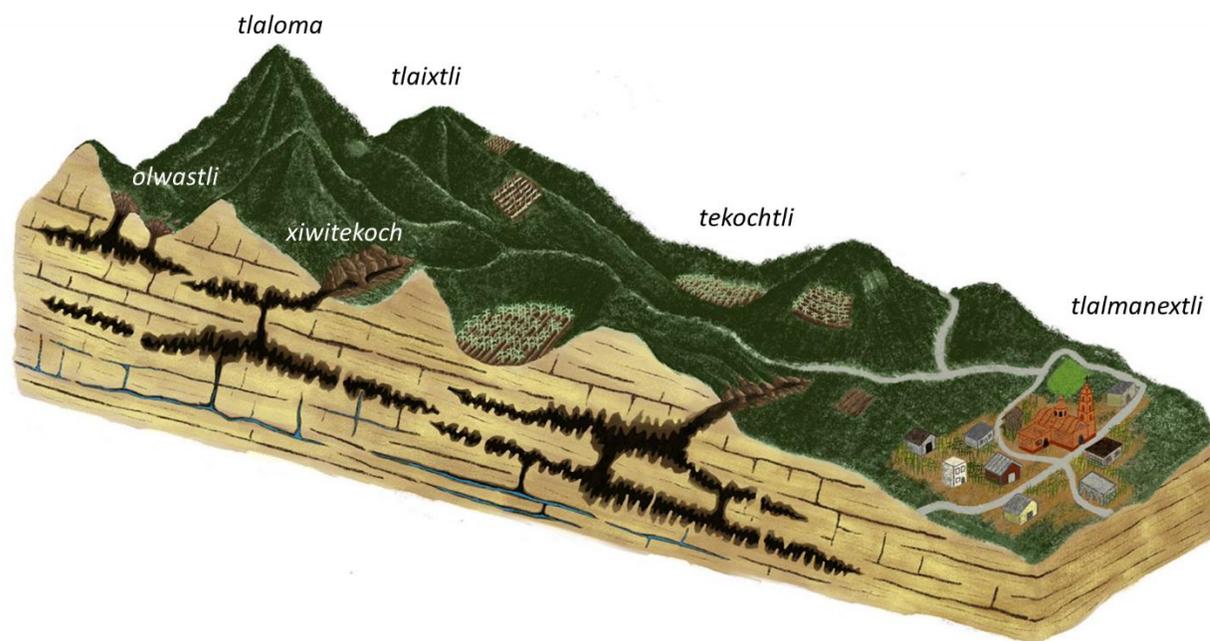
1.2.3. *Unidades de paisaje de Zacamilola*

Las unidades de paisaje indígenas y campesinas son la expresión del conocimiento local, profundo y preciso, de la interacción entre los componentes de los patrones y procesos de creación del paisaje: el geo-pedológico, el biótico, y el sociocultural (Campos *et al.*, 2012; Pulido y Bocco, 2016).

En Zacamilola las y los agricultores ubican sus parcelas y dividen su territorio conceptualmente y en la práctica a través de diferentes criterios como la pendiente y su gradiente, la forma del terreno, el tipo de suelo o clase de tierra local y la cubierta vegetal asociada. Con base en estos criterios se identificaron al menos tres unidades de paisaje de importancia agrícola y forestal: *tlaixtli* o tierra inclinada, *tlalmanextli* de *tlamanalli* o terraplén, tierra plana y *tekochtli* huecos o rejoyas. En la descripción del paisaje surgen también otras palabras importantes en torno al paisaje como lo son *xiwitekoch* o cuevas, *ostotl* o cavernas, *tlalkomol* o barrancas, *tlaloma* o cumbres y *olwastli* o sótanos de importancia ceremonial y cultural. En la tabla 2 se describen estas unidades de acuerdo con su geoforma, pendiente del terreno, cubierta vegetal, sistemas agroforestales encontrados y pedregosidad.

Las unidades de paisaje de importancia agrícola y forestal en la comunidad tienen una estrecha relación con los procesos relacionados a la edafogénesis o formación del suelo. En la unidad *tlaixtli* tienen lugar procesos de arrastre, caída, deslizamiento y transporte de partículas del suelo y otros materiales, en la unidad *tekochtli* se dan también procesos de arrastre en las laderas de las rejoyas que finalmente se acumularán y depositarán en el lecho del *tekochtli* y finalmente, en la unidad *tlalmanextli* se depositan y estabilizan las partículas del suelo, acelerando, en algunos casos, su formación.

Tabla 2. Rasgos geomorfológicos, uso de suelo y clases de tierras por unidades de paisaje campesinas en la comunidad de Zacamilola, Atlahuico, Veracruz. Ilustración de Karla Olvera.



Unidad campesina de paisaje	Geoformas	Pendiente (%)	Cubierta vegetal y/o uso de suelo	Pedregosidad	Posición geomorfológica
<i>Tlaloma</i>	Cumbre	15-30%	<ul style="list-style-type: none"> • Bosque mixto de pino-encino 	Muy pedregosos	Superficie cumbral
<i>Tlaixtli</i>	Laderas escarpadas	15-30%	<ul style="list-style-type: none"> • Bosque mixto de pino-encino • Agrobosques • Pino (<i>Pinus patula</i>) en sistema Taungya. • Agricultura itinerante 	Muy pedregosos	Hombro de ladera, ladera, pared de caída.
<i>Tekochtli</i>	Poljes de menor tamaño	0-15%	<ul style="list-style-type: none"> • Agrobosques • Pino (<i>Pinus patula</i>) en sistema Taungya. • Milpa en rotación con especies de invierno. • Huertos de traspatio 	Pedregosidad media	Piedemonte medio, piedemonte coluvial, piedemonte aluvial, planicie.
<i>Tlamanextli</i>	Fondo de los poljes de mayor tamaño	0-2%	<ul style="list-style-type: none"> • Huertos de traspatio • Milpa de barbecho con yunta en rotación con especies de invierno • Sitio de manantiales 	No pedregoso	Planicie
<i>Xiwitekoch</i> <i>Olwastli</i>	Cavernas y dolinas	-	<ul style="list-style-type: none"> • Realización de Xochitlalilistli 	-	-

1.2.4. Clasificación local de tierras

En Zacamilola, la tierra es fértil o infértil, no como estado permanente, sino cómo estado dinámico que puede ser leído en su color, en su textura y en su historia productiva. Es un estado cambiante que está en función del paisaje, los riesgos asociados y las acciones humanas. Cualquier tierra puede ser fértil, si se le aplica el conocimiento adecuado para laborar, las especies vegetales y el cuidado que mejor se adecue a sus condiciones topográficas, ubicación geomorfológica, profundidad del suelo, materia orgánica, microclima, cercanía de la casa, etc.

La clasificación local de tierras es descrita esencialmente por el color del suelo, su textura y la cantidad de abono, características físicas que proporcionan información sobre el estado de salud del suelo. Un suelo puede ser amarillo-naranja o *tlalkostik*, negro *tlaltlilíwik*, rojo o *tlalchichiltik* y *tlalabono* o *tlalmahara* tierra abonada. La textura de dichas clases es identificada a través de las categorías *sokitlal* o barrial; *xaliktal* o arenosa y *tlalnextli* o polvillo que se especifican en la tabla 3 por clase de tierra.

Tabla 3. Clases de tierras locales identificadas en la comunidad de Zacamilola.

Clases locales de tierras	Interpretación	Textura	Calidad
<i>Tlalabono</i> <i>Tlalmahara</i>	Tierra buena, tierra abonada	-	Muy fértil
<i>Tlaltlilíwik</i>	Tierra negra o parda	Polvillo o <i>tlalnextli</i>	Fértil
<i>Tlalkostik</i>	Tierra amarilla	Barrial o polvillo	Poco fértil, le falta abono
<i>Tlalchichiltik</i>	Tierra roja	Barrial	Poco fértil
<i>Sokitlal</i>	Barro	Barro	No apta para la agricultura, uso en la alfarería

1.2.5. *La tierra viva o la tierra cansada: categorías de materia orgánica del suelo.*

Para las agricultoras y agricultores de Zacamilola, el estado de salud de la tierra es una de las pautas fundamentales que motivan cambios o continuidad en determinado manejo agrícola y forestal. El manejo cíclico de los sistemas agroforestales dará continuidad a su siguiente fase evolutiva dependiendo del estado de la tierra.

Una tierra forestal recién cosechada, es una tierra saludable, llena de fuerza y vitalidad, *kualli tlalli*, tierra abonada o *tlalabono*, tierra fértil o *tlalmahara*, es una tierra que se caracteriza por un horizonte orgánico bien desarrollado y en la que abunda el *samago* u hojarasca.

Por otro lado, la tierra cansada, *otlankih / onihsiktlanke tlalli*, del verbo *ihnika* “jadear”, es una tierra comúnmente trabajada sin descanso por varios años, generalmente cuatro o más. Esta tierra puede verse amarilla o *tlalkostik*, roja o *tlalchichiltik*, pues ha perdido su horizonte superficial orgánico o *samago*. En estas tierras los rendimientos de las cosechas van en declive y ya no son tan productivas, *amo kualli tlalli*. Es entonces cuando las productoras y productores identifican un proceso de degradación de la tierra por declinación de la fertilidad y pérdida de materia orgánica que los lleva a adoptar diversas estrategias.

Pueden dejar descansar la tierra, lo que implica dejar de sembrar maíz por varios años y acompañar, a la par de los últimos años de la milpa, la sucesión natural del bosque. En este acompañamiento activo dan prioridad a especies forestales que en el futuro serán aprovechables y a especies de rápido crecimiento con altos aportes de hojarasca. Este proceso puede durar de 10 a 30 años en los que gracias al aporte de biomasa el horizonte orgánico del suelo se recupera.

Antonio Juárez y Verónica Ixmattlahua Tlaxcala nos contaban que:

“Cuando se va acabando el samago, se va pudriendo, se va revolviendo y cambia de color la tierra. Si sabe uno bien de campo puede conseguir algunos ilititos, allá uno, dos, tres, allá abajo otros tres, ese arbolito crece y es el que tira más samago. Pero al ocote no le vas a encontrar este abono, vuelve duro la tierra porque no tiene mucha agua... El encino si tiene buen abono, tiene samago pero tira mucha raíz, por ejemplo, nosotros hacemos carbón pero luego si siembras no te da porque tiene mucha raíz y no se pudre luego, luego, no lo nutre la tierra como debe de ser... Si ves alguna espina, del ilite, lo tiras y toda la raíz se desprende y te deja suavcita la tierra y tiene bastante samago”

Otra opción es el manejo de la pendiente. En los huertos de traspatio, dónde el uso es de largo alcance o permanente, es posible observar obras con piedra para la formación de terrazas o *tlalmanalli*, evitando la erosión del suelo. Recientemente, con el programa Sembrando Vida, comienzan a amontonar los restos forestales y agrícolas que antes se quemaban, en montones a curvas de nivel, que generarán con el tiempo terrazas.

Las campesinas y los campesinos saben que, a mayor intensidad agrícola del uso de la tierra, existe mayor necesidad de aportes de materia orgánica externos. En este sentido, han identificado una gama de enmiendas orgánicas que pueden ayudar a restaurar la fertilidad de la tierra y que son utilizadas comúnmente (Tabla 4).

Tabla 4. Categorías de abonos orgánicos en la comunidad de Zacamilola

Categorías de <i>tlahsole</i> o abono	Interpretación	Características y particularidades	Usos
<i>Samago</i>	Mantillo de diversas especies forestales	El mantillo del <i>ilitl</i> (<i>Alnus</i> sp.) es considerado de mejor calidad, le sigue el del <i>awatl</i> (<i>Quercus</i> spp.). El <i>ocoxalli</i> o mantillo del pino (<i>Pinus</i> spp.) es considerado como regular pues abona la tierra, pero puede resecarla	Se utiliza para plantas ornamentales, almácigos y plantas de vivero.
<i>Mahara</i>	Estiércol de ganado mayor y menor	El estiércol de <i>ixca</i> o borrego y de <i>tentzo</i> o chivo es práctico para adicionar y de buena calidad.	Cultivos agrícolas
<i>Tlahsoltepetl</i> <i>Tlalabono</i> <i>Tlalahmahara</i>	Abono de monte	Se encuentra en la tierra recién abierta a cultivo o posterior a un descanso de larga duración.	Milpa
<i>Aserrín</i>	-	Los restos de la carpintería son utilizados como acolchado para el mantenimiento de la humedad	Huertos de traspatio
<i>Tlikonextli</i>	Ceniza	La ceniza se incorpora con el estiércol para adicionarlos simultáneamente a la tierra	Milpa y frutales
<i>Owakuawitl</i>	Rastrojos	<i>Milowakuawitl</i> se refiere al rastrojo de la milpa, en lugares de alta pendiente se deja sobre el suelo	Milpa
<i>Tlitekol</i> o <i>Tekolli</i>	Carbón	Los fragmentos más delgados que no son comercializados son repartidos o dejados sobre el terreno.	Milpa y huertos de traspatio

1.2.6. Clasificación local de rocas

En toda la comunidad y particularmente en las zonas de alta pendiente es común encontrar rocas que sobresalen a la superficie, estas rocas son conocidas a detalle por sus habitantes. La pedregosidad, que llega a ser frecuente en los terrenos, no es vista como un impedimento para realizar agricultura o aprovechamiento forestal. Al contrario, las rocas tienen importancia social y cultural para la comunidad en su cotidianidad y por ello han desarrollado un amplio y particular conocimiento sobre ellas.

Las rocas son parte de la construcción de muros de casas antiguas, de cercos en las parcelas para retener el suelo o parte de los terraplenes que fungen como cimientos de las casas. Para todo ello comúnmente se utiliza *xoxowiktetl* o roca caliza. Otro tipo de roca comúnmente utilizada en la construcción de caminos es *papalotetl* o roca delgada como alas, laja o balastro (figura 30). Que sirve para soportar la plancha de cemento o evitar hundimientos en los caminos (Julia Tlaxcala y Roberto Ixmatlahua, comunicación personal).



Figura 30. Papalotetl, mina de balastro en Xoxocotla.

De importancia para la alfarería, está el *xalli* o mármol que es adicionado al *sokitl* o barro para darle firmeza a comales, ollas, jarros y otras obras de arte que realizan las mujeres de Zacamilola, de este existen dos tipos *ixtakxal* o mármol blanco y *kostikxal* o mármol amarillo (figura 31) (Antonia Xicalhua, comunicación personal).

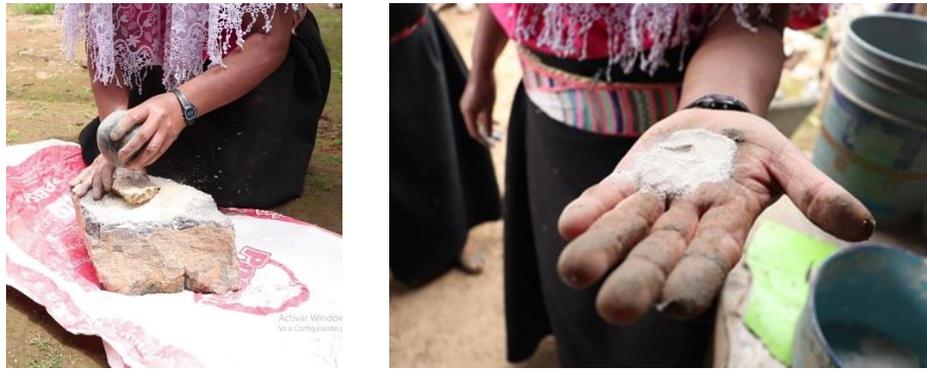


Figura 31. Antonia Xicalhua moliendo itakxal o mármol blanco.

Así mismo, el *tepoaktetl* o tierra mineral, metálica, tierra pesada (Arcelia Apale, comunicación personal), de *tepostli* “metal” y *tetl* “piedra”, posiblemente lutitas, es comúnmente encontrada y ampliamente reconocida (figura 32). En las parcelas forma parte del horizonte C, esta roca es un agregado compacto de muy altos contenidos de arcillas, mismas que en condiciones ambientales de reducción u oxígeno reducido por condiciones de inundación variables, dan lugar a los bancos de barro de gran importancia para la comunidad.



Figura 32. Tepoaktetl y banco de barro para alfarería.

2. Sistemas agroforestales de la comunidad.

2.1 Paisaje agroforestal de Zacamilola

El paisaje de Zacamilola es un mosaico socioecológico de parcelas en diferentes etapas de sucesión, bosques maduros, siembras forestales, huertos de traspatio, milpas y asentamientos humanos (figura 33). Ha sido configurado por las actividades económicas familiares, el tipo de propiedad de la tierra, su accesibilidad, el área que se posee, la historia de uso agroforestal y la lógica y sentir que motivan su uso y manejo. Este ser, hacer y sentir que modifica particularmente el paisaje no se puede comprender sin la influencia de factores ecológicos como la geomorfología, edafología, hidrología, clima, vegetación, etc., a los cuales campesinas y campesinos se adaptan y manejan en su actuar cotidiano.



Figura 33. Paisaje agroforestal de Zacamilola.

A los agroecosistemas que observamos en el paisaje podemos denominarles sistemas agroforestales por los componentes agrícolas, forestales y pecuarios que los integran e interactúan en espacio y tiempo. Sin embargo, más allá de los agroecosistemas, las familias de la comunidad tienen una

larga tradición en el manejo forestal maderable y no maderable de los bosques mixtos de pino-encino, el cultivo de variedades nativas de maíz asociado a diversas especies agrícolas, la crianza de animales menores y en especial borregos para elaboración de textiles y, de menor antigüedad, pero no por ello menor importancia, el establecimiento forestal maderable de pinos para actividades de carpintería y venta de madera. Por todo ello, más allá de un sistema, la agroforestería en Zacamilola se cultiva como un arte de múltiples principios que logra integrar de forma compleja y dinámica gran diversidad de formas de vida y etapas de desarrollo.

Las familias organizan sus tierras y recursos para un aprovechamiento múltiple de la tierra que genera bienes diversos para el autoconsumo y para la venta. De tal modo que las parcelas cambian dinámicamente en espacialidad y temporalidad, siguiendo una lógica no lineal en el tiempo, sino un patrón cíclico entre prácticas de manejo y usos de la tierra. Así, la producción familiar sucede simultáneamente en distintas parcelas, áreas de terreno, niveles de sucesión y niveles de intensificación.

Así mismo, algunas familias trabajan no solamente terrenos propios, sino también predios que les son rentados y/o prestados. En estos acuerdos se pueden generar intercambios monetarios, de trabajo, de reparto de la cosecha, etc., lo que hace que la historia productiva y de manejo sea particular a cada agroecosistema.

Todo ello da lugar a un calendario agrícola y forestal con actividades diversas durante el año que se realizan individualmente por familia y conjuntamente entre familias. Muchos de los momentos importantes de este calendario confluyen con el calendario ritual y festivo de la comunidad, dando lugar a fechas o momentos culminantes donde lo sagrado y religioso se funde con el hacer práctico agrícola y forestal.

2.2 Clasificación y caracterización de sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales se pueden clasificar de acuerdo con criterios estructurales, funcionales, ambientales y socioeconómicos. Este trabajo se apoya de los principios clasificatorios de Nair (1985) y toma como guía la jerarquización y sistematización propuesta por Ospina (2004) quien diferencia entre sistemas, tecnologías y prácticas de manejo agroforestales.

Los sistemas agroforestales de la comunidad se clasificaron en dos grandes grupos de acuerdo con su temporalidad (Nair, 1985): simultáneos y secuenciales.

a) **Sistemas agroforestales simultáneos**

Sus componentes leñosos y no leñosos coexisten de forma simultánea en espacio y tiempo.

- *Huertos de traspatio*

✓ Estructura y función:

Se trata de sistemas agrosilvopastoriles intensivos y sumamente diversos que presentan un diseño espacio-temporal complejo. Se caracterizan por su cercanía a la casa, lo que asegura la atención y trabajo continuo durante todo el año. En estos sistemas se cultivan especies de plantas leñosas y no leñosas comestibles, frutales, forestales, ornamentales y medicinales; y se crían especies pecuarias como gallinas, guajolotes o totoles, cerdos, borregos, chivos, caballos, vacas y burros, para el consumo, la venta, como medio de transporte y como forma de ahorro a largo plazo.

Los huertos de traspatio estructuralmente incluyen herbáceas de diversos portes, entre ellas cultivos anuales asociados a la milpa en su ciclo primavera-verano como frijol y calabaza; y especies agrícolas tolerantes al frío durante el invierno como el haba, chícharo y avena. En sus componentes arbustivos perennes se incluyen plantas medicinales, ornamentales y cactáceas como alcatraces, dalias, margaritas, magueyes, yucas y nopales; y como componente arbóreo presentan gran diversidad de frutales de clima templado como manzana, durazno, ciruela, pera y aguacate y otras especies maderables.

Espacialmente tienen una disposición horizontal mezclada, sin un orden geométrico específico, sin embargo, en algunos huertos es posible distinguir filas de árboles frutales que dan lugar a callejones donde se siembran otras especies agrícolas. Verticalmente, se trata de un sistema multiestratificado que involucra especies de distintos portes como se aprecia en la figura 34.

El componente animal generalmente se encuentra semi-estabulado en corrales de madera donde se generan importantes cantidades de estiércol, un insumo altamente valorado para la intensificación del huerto y el abonado de parcelas y viveros.

Gracias a la alta diversidad de especies en el huerto y su complejidad estructural y temporal se reduce el riesgo de plagas y enfermedades, los nutrientes se reciclan y se provee de una fuente variada de alimentos y productos para la venta.

✓ Tecnologías agroforestales:

Los huertos familiares son por sí mismos una tecnología agroforestal. En ellos es posible encontrar también cercas vivas, árboles en linderos, árboles en contornos o terrazas, setos ornamentales y medicinales.

✓ Manejo agroforestal:

Por su cercanía a la casa, cualquier restricción en la fertilidad o productividad es manejada activamente por las familias

El manejo del componente leñoso puede incluir prácticas como su establecimiento en curvas a nivel, cajeteo, abonado orgánico y fertilizado de síntesis química, podas de formación, aclareos o saneamiento, realización de injertos y cosecha en el caso de frutales; para las especies maderables se realizan podas de aclareo y tumbas.

A su vez, como medio de protección se pueden realizar acolchados orgánicos, techos de varas contra heladas y granizo, cercos con mallas para evitar el daño a árboles jóvenes por pastoreo, etc.

“Se necesita hacer un plancito y después voy a hacer una joyita. Yo estoy sacando la prueba. No le gusta pendiente, le gusta como aquí, un terraplén de dos y media cuadrada, plancito y después escarba redondo, entierra 15 cm, y después abono orgánico, le tapa con varetas para que cuando viene el agua fuerte no se lleva el abono. También queda mejor si se hace el terraplén con la piedra azul, queda mejor”. (Don Víctor Tlaxcala Ixmatalhua, comunicación personal).

El manejo del componente no leñoso está en función de la especie, las especies anuales alimenticias son abonadas y fertilizadas específicamente, mientras que las especies ornamentales y medicinales son podadas y cosechadas intermitentemente.

El abonado orgánico puede llevarse a cabo con estiércol, aserrín, restos de cocina, ceniza, cisco de carbón, tierra de monte y *samago* u hojarasca; mientras que la fertilización de síntesis química se realiza con fosfato diamónico (18-46-00).

El manejo del componente animal depende de la especie, en general se encuentra semiestabulados, a excepción de los cerdos, los cuales se estabulan permanentemente. Los cerdos son alimentados

con restos de cocina, maíz de la parcela y en ocasiones, alimento balanceado. Después de uno o dos años son vendidos o sacrificados por la propia familia en fiestas patronales, celebraciones familiares o venta local.

En el caso de chivos y borregos son pastoreados en los alrededores del huerto, caminos y otras parcelas en descanso o sin uso agrícola, donde son amarrados durante el día, para volver a los corrales por la tarde; a su vez son alimentados en los corrales con forraje acarreado de las milpas y a veces alimento balanceado. Las aves del huerto se alimentan con maíz de la propia parcela y se les deja libres para forrajear y comer insectos en el huerto.

- *Milpa en rotación con cultivos de invierno, borregos y cabras.*

✓ Estructura y función:

Se trata de sistemas agrosilvopastoriles de gran importancia para la alimentación familiar, en los que la milpa de temporal tiene un papel central y se establece año con año en el mismo lugar. Para ello, se seleccionan terrenos planos o ligeramente inclinados, lo que permite disminuir los riesgos asociados al uso permanente de la tierra, como la erosión y disminución de la fertilidad.

Estructuralmente estos sistemas incluyen especies no leñosas como el maíz (*sintli*, *Zea mays*) y especies asociadas como la calabaza (*ayohktli*, *nawayotl*, *Cucurbita pepo* subesp. *pepo*, *Cucurbita* sp.), chilacayote (*Cucurbita ficifolia*), papa (*iztakahmotl*, *Solanum tuberosum*), papa de agua (chichilkahmotl o estrangüero, *Oxalis tuberosum*), y diferentes variedades de frijol (*ayotl*, *lamahetl*, *pitzaetl*, *Phaseolus vulgaris*, *P. coccineus*), durante el ciclo primavera-verano; mientras que en el ciclo otoño-invierno se puede rotar con haba (*abax*, *Vicia faba*), chícharo (*etlontzin*, *Pisum sativum*) y avena (*Avena sativa*). La rotación con especies leguminosas tolerantes al frío ayuda a mantener la cubierta vegetal del suelo, proveer de proteína vegetal a la alimentación familiar y generar asociaciones simbióticas y mutualistas, que permiten la fijación de nitrógeno en el suelo.

Estos sistemas, a su vez, fomentan gran variedad de herbáceas y arbustivas alimentarias no cultivadas y cultivadas como los quelites, el *kilapox*, *mexoko*, la hierba mora (*Solanum nigrum*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), matas de chiles (*Capsicum* spp.) etc., que complementan la dieta familiar.

El componente leñoso funge como linderos y cercos vivos que son fuente de leña y recursos forestales no maderables como hojarasca, plantas medicinales, hongos comestibles, etc. Especies comunes son los pinos (*okotl*, *Pinus* spp.), ilites (*ilitl*, *Alnus* spp.) y encinos (*awatl*, *Quercus* spp.).

El componente pecuario lo integran principalmente chivos y borregos, los cuales se integran al manejo a través del pastoreo y en algunos casos los corrales pueden ubicarse en la misma parcela, lo que asegura para su alimentación una fuente continua de rastrojo y una fuente de estiércol para incorporación.

Espacialmente las milpas en rotación con especies de invierno tienen una distribución horizontal zonal como se puede apreciar en la figura 36, donde la milpa ocupa la mayor extensión de las parcelas, el componente leñoso se ubica específicamente en linderos y cercos; y el componente animal se encuentra semiestablado en corrales. Verticalmente este sistema puede clasificarse como multiestratificado por la variedad de portes que asocia integrando especies rastreras, trepadoras, semiarbusivas y arbóreas.



Figura 36. Disposición horizontal y vertical de la milpa en rotación con cultivos de invierno, borregos y cabras. Ilustración Karla Olvera (2022).

Temporalmente en estos sistemas los componentes leñosos coinciden simultáneamente con los ciclos anuales de los componentes no leños que se rotan según la temporada como se ilustra en la figura 37. Su arreglo temporal puede considerarse simultáneo e intermitente.

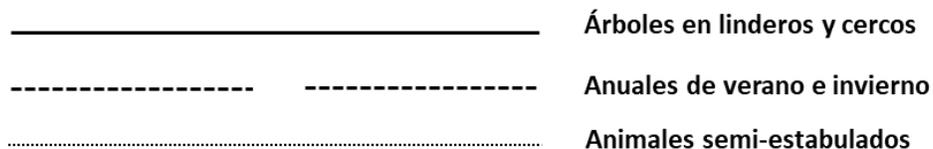


Figura 37. Ilustración esquemática del arreglo temporal de las milpas en rotación con cultivos de invierno. Elaboración propia.

✓ Tecnologías agroforestales

Las milpas en rotación con cultivos de invierno adoptan franjas de árboles en linderos y cercos vivos que además de delimitar el terreno dan protección a las áreas de mayor pendiente y pedregosidad circundantes a la parcela. A su vez, pueden fungir como barreras rompevientos, prevenir la entrada de patógenos e insectos considerados como plaga y ante la erosión del suelo.

✓ Manejo agroforestal

Para su establecimiento anual estos sistemas son labrados de forma manual o mecánica con el arado de yunta y deshierbados con azadón al menos dos veces al año, lo que disminuye las horas de trabajo dedicadas a la preparación del terreno, a diferencia de los sistemas de agricultura itinerante (figura 38).



Figura 38. Barbecho con yunta y árboles en linderos. Ilustración Karla Olvera (2022).

Debido a su uso continuo, las milpas logran ser intensificadas con la adición continua de materia orgánica que puede provenir de estiércoles, residuos de cosecha, hojarasca, cisco de carbón, aserrín, etc., que se adicionan junto con el primer deshierbe. Mientras que durante el crecimiento y/o floración del maíz se utiliza la fertilización mineral con sulfato diamónico (18-46-00).

El uso de fertilizantes de síntesis química tiene una introducción reciente en la milpa, pues tradicionalmente el componente animal de estos sistemas se interrelacionaba íntimamente con su manejo como menciona Tomás Tlaxcala:

“Antes como teníamos más borregos y chivos, hacían un corral grande con ramitas y los paraban en la milpa en las noches, en el día se los llevaban al cerro, ese corral le iban aumentando el área. Iban moviendo el corral para que a la hora de sembrar ya estuviera abonado el cultivo, pero antes, ahorita ya no.” (Tomás Tlaxcala Tlaxcala, comunicación personal).

En la actualidad, el componente animal continúa siendo de gran importancia para el manejo de la milpa, pero el sitio del corral es restringido a un solo sitio y el pastoreo realizado fuera del área de cultivo, lo que implica juntar y acarrear el abono para su aplicación. A su vez, la milpa es fuente continua de forraje para la alimentación de borregos y chivos complementando su nutrición.

A diferencia del componente no leñoso, el manejo de los árboles en linderos es de baja intensidad, algunas veces puede ser aclarado, tumbado o cosechado para leña y tablones y es sitio de recolección de recursos forestales no maderables. En estas áreas se permite el pastoreo.

- *Milpa asociada a árboles frutales (MIAF)*

- ✓ Estructura y función:

La milpa asociada a árboles frutales (MIAF) es un sistema agrosilvícola ampliamente difundido en la comunidad por el programa federal Sembrando Vida que integra especies leñosas frutales y maderables con no leñosas anuales asociadas a la milpa de forma permanente. Actualmente en la comunidad, este sistema tiene tres años de establecimiento y en la práctica algunas parcelas pueden ser clasificadas como agrosilvopastoriles, pues las familias pastorean borregos y chivos en los linderos de los terrenos.

Estructuralmente el componente leñoso asocia además de frutales de clima templado, como el peral (*Pyrus communis*), manzano (*Malus domestica*), ciruelo (*Prunus domestica*), durazno (*Prunus persica*) y aguacatero (*Persea americana*), también especies leñosas maderables como el pino (*okotl*, *Pinus* spp.), encino (*awatl*, *Quercus* spp.), ilite (*ilitl*, *Alnus* spp.) y cedro blanco (*tlatzka*, *Cupressus* sp.). El componente no leñoso está integrado por especies típicas a la milpa como el maíz (*sintli*, *Zea mays*), calabaza (*ayohktli*, *nawayotl*, *Cucurbita pepo* subesp. *pepo*, *Cucurbita* sp.), chilacayote (*Cucurbita ficifolia*), papa (*iztakahmotl*, *Solanum tuberosum*), papa de agua (chichilkahmotl o estrangüero, *Oxalis tuberosum*), y diferentes variedades de frijol (*ayotl*, *lamahetl*, *pitzat*, *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus*).

Espacialmente los sistemas MIAF tienen una distribución horizontal zonal, donde los árboles frutales son establecidos en hileras a curvas de nivel y las especies asociadas a la milpa en los callejones, mientras que las especies leñosas maderables se encuentran distribuidas de forma dispersa en el terreno, como se puede apreciar en la figura 39. Verticalmente su distribución es multiestratificada debido a los diferentes portes de las especies frutales y forestales asociadas.



Figura 39. Disposición horizontal y vertical de la milpa asociada a árboles frutales (MIAF).

Ilustración Karla Olvera (2022).

Temporalmente en estos sistemas los componentes leñosos coinciden simultáneamente con los ciclos anuales de los componentes no leñosos como se ilustra en la figura 40. Su arreglo temporal puede considerarse simultáneo e intermitente.

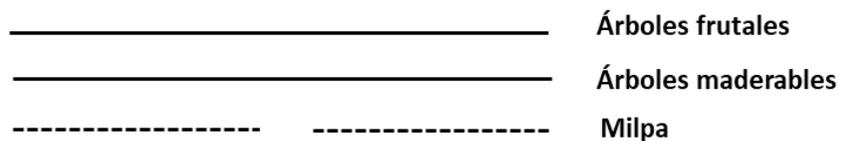


Figura 40. Ilustración esquemática del arreglo temporal de la milpa asociada a árboles frutales (MIAF). Elaboración propia.

✓ Tecnologías agroforestales

Los sistemas MIAF adoptan hileras de árboles para formar callejones donde se establecerán los cultivos anuales. Estas hileras son establecidas a curvas a nivel como estrategia de manejo de la pendiente y protección de la degradación del suelo. A su vez, los árboles maderables dispersos son ubicados estratégicamente en zonas de mayor pendiente y pedregosidad del terreno.

✓ Manejo agroforestal

Para el establecimiento inicial de este sistema se realiza la roza y tumba, mientras que la quema está prohibida por sugerencia técnica del programa Sembrando Vida, por lo que, como alternativa, se amontonan los residuos de la tumba dispuestos en curvas a nivel o en el punto más bajo de la parcela. Esto ayuda a retener el suelo, a mantenerlo cubierto y a evitar su exposición a las altas temperaturas asociadas con la quema.

El manejo del componente leñoso se ha dado a través del establecimiento a curvas a nivel, abonado orgánico, podas de formación, podas de aclareo y realización de injertos. Para su abonado se ha capacitado a campesinas y campesinos en la elaboración de abono orgánico bokashi elaborado a base de rastrojo de maíz, estiércol, carbón, ceniza, melaza y agua.

La propuesta inicial de diseño y manejo agroforestal de estos sistemas ha tenido múltiples adaptaciones y reapropiaciones en la zona por campesinas y campesinos. Los motivos de la reapropiación son diversos, entre los más importantes es que para ser partícipe de la capacitación, asistencia técnica, insumos y árboles del programa Sembrando Vida, se requiere como mínimo el establecimiento de 2.5 ha de terreno.

Dado el tipo de propiedad de la tierra de la comunidad: privada y minifundista, generalmente estas parcelas se encuentran muy lejanas a las casas de los propietarios, tratándose de bosques maduros que no habían sido sembrados o bosques secundarios que llevaban un largo periodo en descanso, provocando la expansión de las fronteras agrícolas. Otra opción para lograr cumplir con el requisito de área mínima fue la sumatoria de la superficie de terrenos no contiguos.

“En 2.5 ha sembramos 1200 árboles frutales: 400 de ciruela, 400 de manzana y 400 aguacates en promedio y en 1 ha sembramos la madera... Se establece cada 10 m de distancia una fila, entonces en medio se siembra maíz, los árboles con el tiempo crecen mucho y se tienen que podar... Fue posible juntar terrenos para recibir el apoyo, debido a que todo era pequeña propiedad” (Víctor Tlaxcala Ixmatlahua hijo. Comunicación personal).

De forma individual y colectiva se han generado reflexiones en torno a la impertinencia de mantener estos espacios sembrados con árboles frutales, dada la lejanía de la casa, lo que complica las prácticas de abonado, manejo de plagas y gestión de la cosecha. Por ello, a través del diálogo se han logrado adaptaciones locales a los lineamientos del programa, generado acuerdos con técnicos y supervisores para sembrar menor área de este sistema en parcelas lejanas y la mayor cantidad de árboles frutales en sus huertos familiares o parcelas cercanas, mientras que las especies como pinos, encinos y tlaxcas se están sembrando en las parcelas lejanas junto con la milpa.

“Los frutales los sembré acá mejor y allá pura milpa y puros pinos, porque allá está lejos porque los frutales no se van a dar, entonces acá se quedaron... la ingeniera quiere juntos, pero platicamos con ella, es que está lejos y no hay casa, y luego para cuidarlos, y es que como hay también los pinos y los encinos, entonces no se puede pues. Hay muchas piedras, y hay unos pinos bien grandes, ¡así había! Entonces los voy a sembrar acá” (Cristina Ixmatlahua Tlaxcala, comunicación personal).

b) **Sistemas agroforestales secuenciales y concomitantes**

Sus componentes coinciden en espacio, pero no siempre en tiempo. Son concomitantes cuando estos llegan a coincidir en el espacio por cortos periodos de tiempo para después ceder su lugar al otro. Esta secuencia en el tiempo permite la competencia mínima por recursos y el reciclaje de nutrientes, lo que permite la recuperación de la fertilidad del suelo.

- *Agricultura itinerante con sucesión del bosque mixto de pino-encino y pastoreo.*

✓ Estructura y función:

Se trata del sistema agrosilvopastoril más antiguo de la región que provee de multiplicidad de productos alimenticios, maderables y no maderables para las familias que los manejan; lo que tiene una estrecha relación con la diversidad de especies forestales, agrícolas y pecuarias asociadas a la sucesión.

Cuando estos sistemas se encuentran en los años de barbecho son fuente de recursos forestales no maderables como plantas medicinales, pastura para animales, hongos comestibles, resinas, quelites, *samago* u hojarasca para abonado de plantas y viveros, *tlalabono* o tierra de monte y también leña para el hogar. Así también, las zonas alledañas son sitios importantes de pastoreo durante la etapa agrícola de la milpa, pues borregos y cabras son llevados durante el día aprovechando el tiempo de realización de labores agrícolas.

Durante el periodo de roza y tumba las especies leñosas (*Quercus* spp., *Alnus* spp. y *Pinus* spp.) serán el principal insumo para elaborar carbón, obtener tablones, vigas y leña. Posteriormente, en los años de labranza, el maíz (*Zea mays* L.) y sus especies asociadas, ofrecerán alimentos a la familia y finalmente en la temporada de sucesión los terrenos serán visitados para pastoreo y recolección de recursos no maderables.

Espacialmente en todas sus etapas de sucesión este sistema tiene una distribución horizontal mezclada sin un orden geométrico particular, al principio siendo su distribución vertical parecida a la de un bosque maduro y de múltiples estratos y posteriormente con la milpa más simplificada pero igualmente multiestratificada, como lo ilustra la figura 41.

✓ Tecnologías agroforestales

La agricultura itinerante o de roza, tumba y quema es considerada como una de las primeras y más importantes tecnologías agroforestales en Mesoamérica. En ella suelen dejarse en pie árboles y arbustos silvestres o sus tocones que pueden rebrotar, lo que facilita la recuperación del bosque y el aprovechamiento de las especies que se dejan en pie, alternando uno o dos ciclos agrícolas con un descanso largo para permitir la recuperación del bosque y la fertilidad del suelo (Moreno-Calles *et al.*, 2013)

✓ Manejo agroforestal

Una vez seleccionada el área para ser labrada, si se elabora carbón vegetal, las y los agricultores realizan en primer lugar, la tumba con motosierra a especies del género *Quercus* (*tetzmolawatl*, *awapitzatl*, *texalawatl*, *nexalawatl*, *etc.*) que serán cortadas en trozos pequeños para elaborar hornos artesanales de carbón en el sitio. Después de ello, serán aprovechadas diversas especies de *Pinus* (*tenexokotl*, *tiokotl*, *chichilokotl*) para obtener tablones y madera de aserrío; otras especies como *Alnus* sp. (*illikuawitl*), pueden ser utilizadas para leña. El manejo forestal se realiza tradicionalmente por monte bajo o coppice, en el que se aprovecha la capacidad de rebrote de especies como encinos (*Quercus* spp.), ilites (*Alnus* spp.), madroños (*Arbutus* spp.), entre otras, para promover una rápida regeneración vegetativa en lugar de sembrar o promover la reproducción sexual de las especies. El proceso de tumba y aprovechamiento progresivo, puede durar algunos meses o años. Sin embargo, cuando se requiere el aprovechamiento inmediato, generalmente se realiza de junio a diciembre, lo que posibilita que en febrero y principios de marzo se prepare la tierra para el barbecho.

La quema, se realiza por lo general a finales de febrero y principios de marzo, al ser meses de poca lluvia y calor, lo que permite que la biomasa delgada y decidua como la hojarasca haya caído al suelo, y la biomasa más gruesa como trozos de ramas haya secado. La quema se inicia en los sitios dónde, por la pendiente o el manejo del aserrío, se han acumulado grandes cantidades de ramas que impiden la labranza. Para evitar que el fuego se esparza a predios contiguos donde hay árboles las y los agricultores hacen una guardarraya.

Anteriormente se acostumbraba a quemar todo el terreno, pero en la actualidad, muchas familias están intentando hacer quemas localizadas a estos sitios de acumulación.

“Cuando está recién tumbado el monte hay mucho samago. Por ejemplo, voy a labrar, en agosto se tumban los árboles, se lleva la leña, ya se sacó el carbón o la leña, ya se pudrió, entonces ya está listo para ahorita en marzo siembra... antes se prendía toda la basura, pero ahora que nos va capacitando nos dicen que ya no, donde hay ese tlasolli ahí se pudre.” (José Guadalupe Tlaxcala Bibiano, comunicación personal).

En este sistema agroforestal el suelo recibe diversos aportes de materia orgánica y nutrientes en las diferentes etapas de su sucesión. Primero, durante el crecimiento del arbolado, recibe hojarasca y fragmentos vegetales; posteriormente durante la corta y troceo de árboles, altas cantidades de aserrín y hojarasca. Después, si se elabora carbón vegetal, se depositarán los restos de la pirolisis en el sitio de influencia del horno y se dejará cisco de carbón en el terreno durante el empacado y transporte. Finalmente, durante la quema previa a la labranza, quedarán altas cantidades de ceniza sobre el suelo. Toda esta materia orgánica será el sustento de la consiguiente etapa agrícola del predio en los años sucesivos.

Una vez listo el terreno para la siembra, se establece manualmente con azadón la milpa (maíz, frijol, calabaza, chilacayote, chile, etc.) durante 3 o 4 años consecutivos, donde se realizarán actividades de siembra, deshierbe, poda, cosecha y en algunos casos fertilizado o abonado.

Desde el primer año agrícola, muchas especies forestales habrán rebrotado y estarán siendo deschuponadas para permitir mayor espacio a la milpa y para dejar brotes principales que permitirán un mejor crecimiento del arbolado. A partir del tercer, cuarto o quinto año, estos terrenos ya no serán sembrados debido al porte de los árboles que sombrean a la milpa y a una mayor competencia por nutrientes. Sin embargo, las familias continuarán visitándolos en la medida en que seguirán siendo sitios de aprovechamiento de recursos no maderables y áreas de pastoreo. El aprovechamiento forestal es posible a partir de los 10 o 15 años del último barbecho, pero en la comunidad es frecuente que se realice a partir de los 20 y más años para lograr buenos rendimientos de carbón y madera. El aprovechamiento progresivo se ilustra en la figura 43.

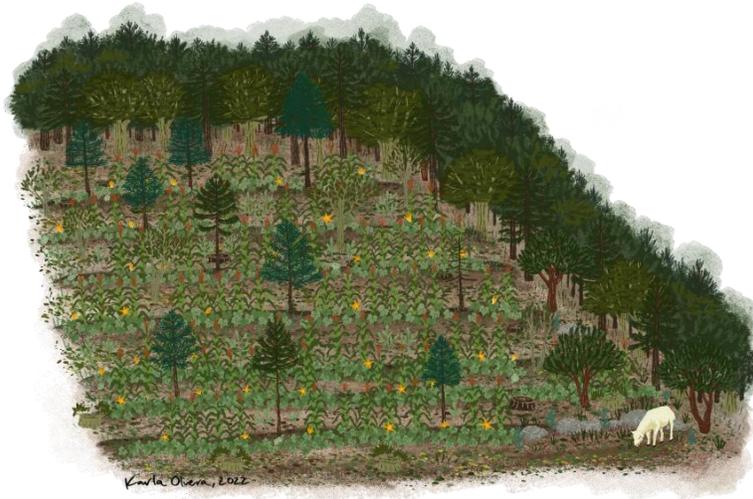
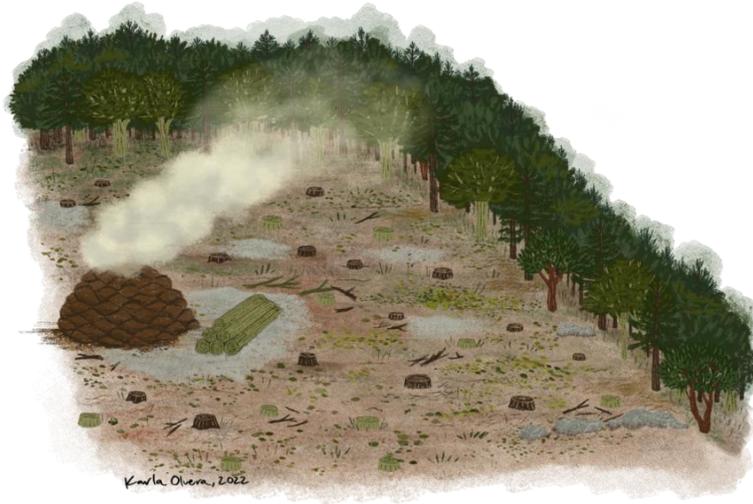
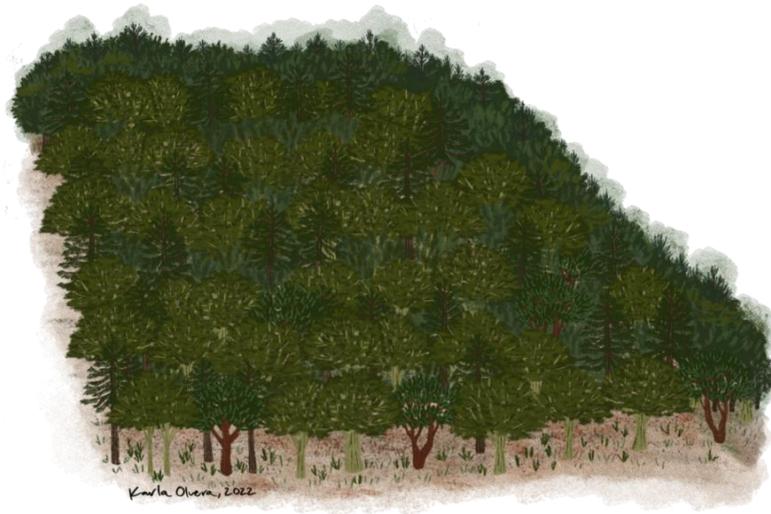


Figura 43. Etapas en el manejo agroforestal de la agricultura itinerante con sucesión de pino-encino. Ilustración Karla Olvera (2022).

- Agricultura itinerante sucedida por *Pinus patula* o sistema Taungya

✓ Estructura y función:

La historia ambiental de Zacamilola hace referencia a la difusión de técnicas y tecnologías alrededor de los años noventa para el aprovechamiento forestal, aserrado y manufacturado de muebles de pino (*Pinus patula*), como acontecimiento que modificó sustancialmente las prácticas de manejo de la agricultura itinerante, hasta entonces llevadas a cabo. En una primera etapa, se aprovecharon las especies de pinos abundantes en la región, pero el aumento de la demanda de madera y la escasez de arbolado, fue campo fértil para el establecimiento de plantaciones comerciales, donde la principal o única especie era *Pinus patula* sembrada en altas densidades. En la actualidad es posible observar en el paisaje de la comunidad parcelas con monocultivos de pino de hace más de 30 años que fueron plantados en el contexto de dichas políticas.

Se trata de un sistema preponderantemente agrosilvícola que en sus primeras etapas provee de recursos alimenticios a la familia a través de la milpa y a la par funciona como un ahorro a largo plazo en el que se obtendrán beneficios económicos de la venta de madera para aserrío de los pinos (*Pinus patula*) varios años después. Espacialmente este sistema tiene una distribución horizontal zonal, en la que los pinos son sembrados a tresbolillo con distancias de 3 x 3 metros formando un triángulo equilátero, mientras que, entre ellos se siembran las especies asociadas a la milpa como lo ilustra la figura 39. Su distribución vertical es biestratificada en los primeros años de establecimiento y crecimiento (de 3 a 4 años), y cuando la milpa se deja de sembrar su distribución es monoestratificada, al tratarse de un monocultivo.



Figura 44. Disposición horizontal y vertical del sistema Taungya. Ilustración Karla Olvera (2022).

Temporalmente en el sistema de agricultura itinerante sucedida por plantaciones de pino, el componente leñoso o plantación forestal coincide durante el establecimiento y crecimiento con el componente no leñoso. Su arreglo temporal puede considerarse secuencial y concomitante, como lo ilustra la figura 45.

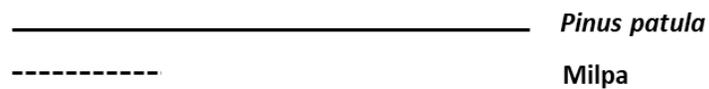


Figura 45. Ilustración esquemática del arreglo temporal de la agricultura itinerante con sucesión del bosque mixto de pino-encino. Elaboración propia.

✓ Tecnologías agroforestales

A este sistema se le denomina también “sistema taungya” y es una tecnología ampliamente difundida en plantaciones forestales en los trópicos para intensificar el uso agroforestal y obtener beneficios en la alimentación familiar a corto plazo con las especies no leñosas y a largo plazo un beneficio económico con las especies leñosas.

✓ Manejo agroforestal

Para el establecimiento inicial de este sistema se realiza la roza, tumba y quema utilizando una guardarraya para evitar la expansión del fuego, una vez preparado el terreno se establecen los arbolitos de pino de un año de edad aproximadamente que han sido sembrados en viveros propios, regalados o comprados. Una vez establecidos, se siembra entre ellos maíz, frijol y calabaza con uso de azadón para la labranza. Durante los años sucesivos se abonará y/o fertilizará mineralmente, deshierbará, cosechará y sembrará la milpa, hasta que el tamaño de los árboles alcance alrededor de 1.5m, y la competencia por nutrientes ya no haga factible la asociación. Entonces los terrenos serán dejados únicamente para establecimiento forestal durante al menos 15 años para la obtención de tablones de tamaño medio. Una vez cosechados los pinos estos sistemas pueden ser sembrados una vez más con la milpa y a la par, resembrados con plantines de pino.

En este sistema agroforestal el suelo recibe aportes de hojarasca y restos de podas durante el crecimiento forestal, aserrín resultante de la corta y troceo de la madera de pino y ceniza resultante de la quema posterior al barbecho, si se continúa con un periodo agrícola.

Las y los agricultores identifican que la quema posterior al barbecho es una práctica de manejo decisiva que favorece el establecimiento de los pinos, asegurando su crecimiento rápido. Así mismo, realizan prácticas de aclareo para mejorar la distribución de los árboles y podas de ramas bajas para el crecimiento recto de los árboles y para dejar el tronco libre de nudos.

Entre las ventajas que encuentran del establecimiento de pinos en monocultivo es que crecen muy rápido y pueden ser cosechados en pocos años, a la vez que reciben una buena remuneración por cada árbol, pudiendo obtener hasta \$4,500 por árbol maduro en el terreno. A diferencia de actividades como la elaboración de carbón, donde se paga \$6 el kilo

comprado en el terreno. Otra ventaja es que, con las capacitaciones recibidas, las productoras y los productores saben obtener semilla y realizar viveros, por lo que de forma autónoma pueden reproducirlos. Sin embargo, por la calidad de la madera de *Pinus patula*, la cual se reportó como más resistente a la pudrición, es el pino que más se siembra.

Una de las desventajas de este sistema que detectan las y los agricultores es el hecho de que los pinos y su hojarasca no permite el crecimiento de otras especies herbáceas y arbustivas que tienen un uso alimenticio, medicinal o útil para el pastoreo, y que la tierra se “re seca” una vez que es cosechado el pino. A su vez, en temporadas dónde abunda la madera de aserrío el precio de compra es fluctuante.

- *Barbechos mejorados y agrobosques.*

✓ Estructura y función:

Se trata de un sistema agrosilvícola que podría ser fruto de una apropiación local en la que ha sido posible hibridar la técnica forestal del cultivo de pino y otras especies con el aprovechamiento diversificado de especies leñosas y no leñosas que son fuente de alimento y de bienes forestales maderables y no maderables. Las especies forestales sembradas, toleradas y favorecidas pueden tener distintos objetivos, como aumentar la fertilidad del suelo, proveer de recursos alimenticios y medicinales, ofrecer productos diversos para la venta, etc.

Como otros sistemas de agricultura itinerante en los años de barbecho son fuente de recursos forestales no maderables como plantas medicinales, pastura para animales, hongos comestibles, resinas, quelites, *samago* u hojarasca para abonado de plantas y viveros, *tlalabono* o tierra de monte y también leña para el hogar.

Durante el periodo de roza y tumba las especies leñosas (*Quercus* spp., *Alnus* spp. y *Pinus* spp.) serán el principal insumo para elaborar carbón, obtener tablones, vigas y leña. Posteriormente, en la labranza, el maíz (*Zea mays*) y sus especies como la calabaza (*ayohktli*, *nawayotl*, *Cucurbita pepo* subesp. *pepo*, *Cucurbita* sp.), chilacayote (*Cucurbita ficifolia*), papa (*iztakahmotl*, *Solanum tuberosum*), papa de agua (chichilkahmotl o estrangüero, *Oxalis tuberosum*), y diferentes variedades de frijol (*ayotl*, *lamahetl*, *pitzatetl*, *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus*), ofrecerán alimentos a la familia junto con otras especies no leñosas arbustivas que ofrecerán bayas silvestres como el tomate cimarrón, zarzas y capulnicillo; y finalmente en la sucesión los terrenos seguirán siendo visitados para manejar las especies forestales sembradas, para pastorear y recolectar bienes no maderables.

La composición puede diferir espacialmente en la parcela, ya que las y los agricultores aprovechan las particularidades microambientales del terreno para establecer diferentes especies forestales. Siendo posible encontrar áreas o manchones exclusivos de *Pinus patula* y en áreas pedregosas o de difícil acceso, diversidad de pinos (*Pinus* spp.), encinos (*Quercus* spp.), ilites (*Alnus* spp.), madroños (*Arbutus* spp.), etc.

Por lo anterior, se considera que tiene una distribución horizontal zonal por áreas y geométrica en los espacios dónde encontramos los pinos sembrados a tresbolillo. A su vez se podría considerar mezclada dónde coexisten otras especies leñosas con la milpa, su distribución vertical desde sus inicios es multiestratificada como lo ilustra la figura 46.



Figura 46. Disposición horizontal y vertical los barbechos mejorados y agrobosques. Ilustración Karla Olvera (2022).

Temporalmente en los barbechos mejorados, los componentes no leñosos asociados a la milpa coinciden temporalmente con los ciclos de rebrote, siembra y crecimiento de los leñosos. Su arreglo temporal puede considerarse secuencial y concomitante, como lo ilustra la figura 47.

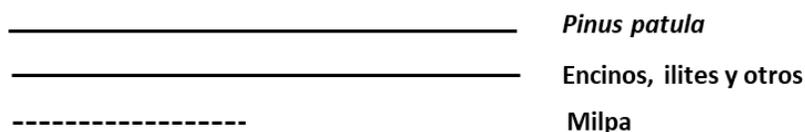


Figura 47. Ilustración esquemática del arreglo temporal de los barbechos mejorados

✓ Tecnología agroforestal

Los barbechos mejorados son una tecnología agroforestal usada en los trópicos húmedos como una estrategia de mejoramiento del cultivo rotativo, dónde es posible acortar el período de descanso agrícola, incrementando su biomasa y acumulación de nutrimentos. Las familias invierten tiempo y recursos al enriquecer las parcelas con especies de rápido crecimiento y/o fijadoras de nitrógeno, en la medida en que no compitan con los cultivos agrícolas; estas inversiones se devuelven al incrementar la eficiencia de la fase de barbecho.

✓ Manejo agroforestal

Este tipo de agricultura itinerante inicia en sus primeras etapas con la roza, tumba y quema para la preparación del terreno y prosigue con el establecimiento de plantines de árboles de pino (*Pinus patula*), encino (*Quercus* sp.), ilites (*Alnus* sp.) y *tlatzka* (*Cupressus* sp.) junto con la siembra con azadón de la milpa.

Además de los pinos, entre las especies que son sembradas o fomentadas cerca de las áreas agrícolas, están los ilites (*Alnus* spp.) valorados por los altos aportes de hojarasca que deposita en el suelo y que tienen un efecto directo en su fertilidad. Otra especie sembrada por su madera resistente y blanca es el *tlatzka* (*Cupressus* sp.), aunque se siembra de forma dispersa al no ser tan común su comercialización.

En estos barbechos, las especies de árboles y arbustos con frutos comestibles como bayas, entre los que se encuentran capulincillos, tomates de árbol, tomates cimarrones y zarzas son tolerados y favorecidos. A su vez, las diversas especies de encinos (*Quercus* sp.) que rebrotan son toleradas en diversas áreas de las parcelas con la finalidad de seguir elaborando carbón.

Esta heterogeneidad de distribución y composición genera aportes de materia orgánica diferenciales en el terreno, encontrando diferente composición de hojarasca, sitios de acumulación de aserrín, sitios que reciben estiércol y composta, áreas con fertilización de síntesis química, etc.

Una particularidad de estos sistemas es que pueden ser sembrados por más de 3 o 4 años en algunas áreas, y otras dejadas a la sucesión o crecimiento de los pinos.

3. Carbono orgánico en el suelo en los sistemas agroforestales de Zacamilola

3.1. Geomorfología y edafogénesis en Zacamilola

Para Atlahuilco, comunidad de Zacamilola, se reportan acrisoles que son suelos derivados de rocas sedimentarias ácidas con elevados niveles de arcillas muy alteradas (INEGI, 2017). Aunque la roca caliza es el material que subyace a estos suelos no es el principal material parental, las lutitas son rocas sedimentarias clásticas de grano muy fino abundantes en la región, mineralógicamente compuestas de arcillas y micas como la caolinita, montmorillonita, illita, cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro.

En pruebas diagnósticas realizadas en laboratorio a las muestras de suelo de la comunidad de Zacamilola (figura 48), se demostró baja o nula presencia de carbonatos y positividad para compuestos alofánicos, un aluminosilicato encontrado en suelos dónde las cenizas volcánicas tienen una influencia importante en su formación. En la comunidad, estas cenizas posiblemente provienen de la zona de actividad volcánica que incluye al Citlaltepétl o Pico de Orizaba, corroborando la alta influencia de estas cenizas en la formación y características edáficas observadas en los perfiles de suelos de los sistemas agroforestales que se describen a continuación.

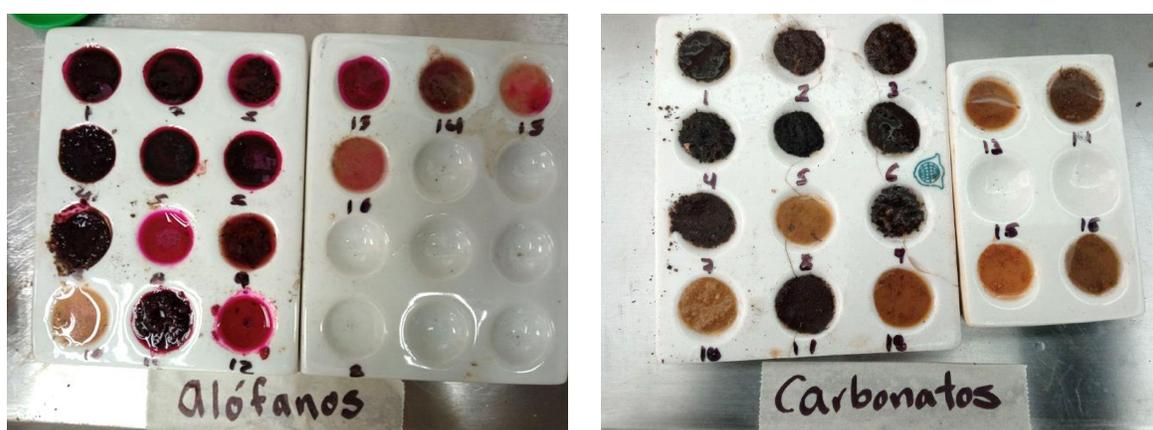


Figura 48. Muestras de suelo de perfiles con alta positividad para alófanos y baja o nula positividad para carbonatos. La prueba de alófanos con NaF y fenoltaleína al IN hace virar la muestra a coloración rojiza en caso de positividad, mientras que la prueba de carbonatos con HCl provoca efervescencia en caso de resultar positiva.

3.2. Descripción edáfica de seis sistemas agroforestales en Zacamilola

3.2.1. Sistemas agroforestales secuenciales

a) Huerto de traspatio

Se ubica en las coordenadas 18° 40' 14.62"N y 97° 04' 24,12"O en el paraje de Okoyitek o “dónde abunda la escobilla” a una altitud de 2228 m.s.n.m. Pese a que este sistema agrosilvopastoril se asienta sobre una ladera tendida o piedemonte aluvial, el terreno ha sido intervenido en amplias terrazas, generando pendientes menores al 2%. Por ello se cataloga como parte de la unidad de paisaje *tlalmanextli* o planes, unidad de paisaje dentro de la cual existen procesos de depositación, estabilización de materiales y formación de suelo que son evidentes en el perfil edáfico.

La clasificación local de tierras para este sistema es *tlaltlilíwik* o tierra negra polvilla (comunicación personal Víctor Tlaxcala Ixmatlahua), por su coloración y textura suelta. Don Víctor considera que esta tierra es buena para la mayoría de los árboles frutales, en especial el aguacate, cultivo de interés para él y su familia, a diferencia de la *barrial*.

La figura 49 muestra fotografías del huerto de traspatio familiar de don Víctor Tlaxcala Ixmatlahua.



Figura 49. Aguacates, duraznos, izote, haba, alcatraz y maíz intercalados.

Esta parcela ha sido trabajada históricamente por la familia de don Víctor por alrededor de 90 años, y desde su apertura a cultivo ha sido laborada anualmente a través de labranza con

azadón. Debido a la cercanía del hogar el abonado se hace de forma anual con estiércol o *mahara* de caballo, borrego, cerdo, bokashi elaborado a base de olote de maíz y hierbas como el *xinamite*. Además, para los frutales y la milpa se fertiliza con fosfato diamónico con la fórmula 18-46-00. La familia elabora hornos de carbón vegetal en otras parcelas utilizando el cisco de carbón sobrante para su incorporación.

Presenta una alta diversidad de especies intercaladas durante todo el año que pueden ser clasificadas en forestales, agrícolas, ornamentales, medicinales y pecuarias como se puede observar en la tabla 5 y la figura 50. Las especies pecuarias se encuentran estabuladas y en caso de pastoreo son llevadas a áreas aledañas al huerto. Las temporadas de siembra y cosecha son distintas y diversas durante todo el año, brindando una gran gama de productos a la alimentación familiar en primera instancia y posteriormente productos para la venta.

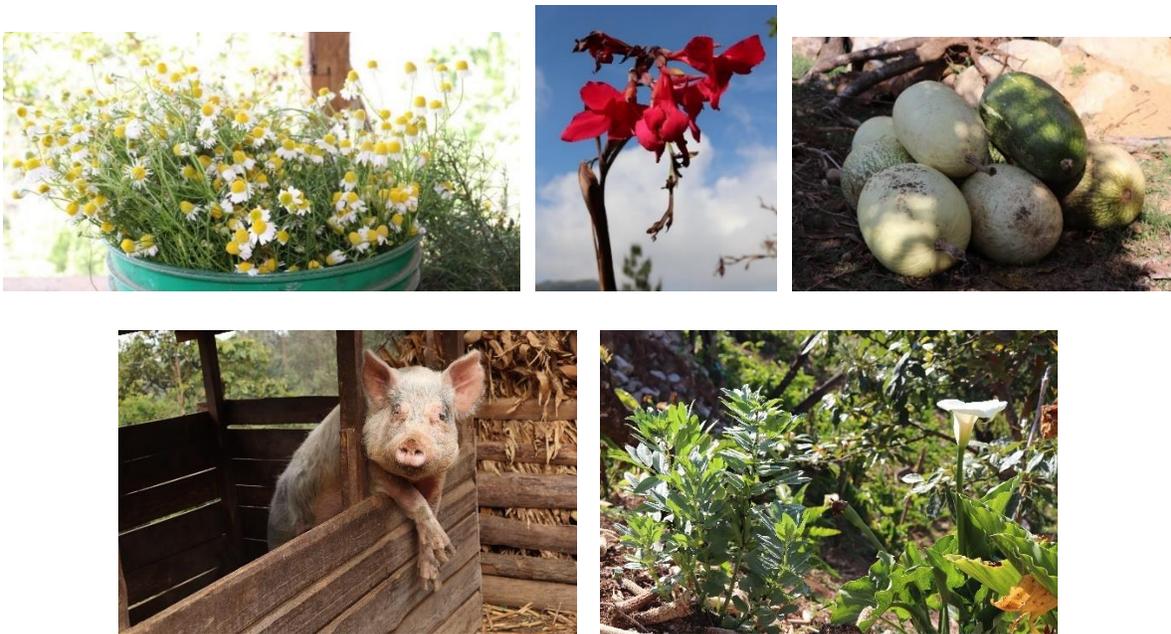


Figura 50. Especies medicinales, ornamentales, agrícolas y pecuarias del huerto de traspatio de Víctor Tlaxcala.

Tabla 5. Especies asociadas al huerto de traspatio de Víctor Tlaxcala

Componentes	Nombre común	Especie
Forestales	Tlaxca	<i>Cupressus sp.</i>
	Pino	<i>Pinus patula</i>
	Xochikuawitl	<i>Cordia alliodora</i>
Agrícolas, ornamentales y medicinales	Durazno	<i>Prunus persica</i>
	Aguacate Hass	<i>Persea americana</i>
	Pera	<i>Pyrus communis</i>
	Manzana	<i>Malus domestica</i>
	Ciruela	<i>Prunus domestica</i>
	Maíz	<i>Zea mays</i>
	Chícharo	<i>Pisum sativum</i>
	Chayote	<i>Sechium edule</i>
	Frijol	<i>Phaseolus spp.</i>
	Haba	<i>Vicia faba</i>
	Alcatraz	<i>Zantedeschia sp.</i>
	Dalia	<i>Dalia sp.</i>
	Margaritilla	<i>Bellis sp.</i>
Romero	<i>Rosmarinus officinale</i>	
Manzanilla	<i>Matricaria recutita</i>	
Pecuarías	Borregos	<i>Ovis orientalis</i>
	Cerdos	<i>Sus scrofa domesticus</i>
	Gallinas y pollos	<i>Gallus gallus</i>

Morfología y clasificación del suelo

El perfil de suelo es profundo, presenta a los 120 cm tres capas con la siguiente secuencia de horizontes: Ap1-Ap2-B (tabla 6). Es un suelo mineral desarrollado en el que se observa influencia antrópica en los primeros horizontes por efecto del manejo de la pendiente con terrazas, cuyo horizonte orgánico es somero, formado por algunos restos de cosecha de caña y hojas de maíz.

El suelo está bien drenado, sin influencias del manto freático, de coloración parda y parda rojiza cuya topografía entre horizontes es irregular debido a la influencia de geómidos y de distinción entre límites de horizontes gradual. Presenta estructura de bloques subangulares en los primeros horizontes A y bloques angulares en el horizonte B. Se observó cisco de carbón que produce una coloración negruzca a más de 50 cm del perfil. La distribución de raíces y raicillas es homogénea y se encuentra en los primeros 40 cm.

Los fragmentos gruesos en el perfil son escasos debido a que han sido aprovechados para la formación de muros, cimientos de la casa y formación de terrazas con tecorrales. No se encontraron evidencias de erosión.

Tabla 6. Perfil de suelo del huerto de traspatio familiar de Víctor Tlaxcala

Fotografía	cm	Hor	Descripción
		O	Escasos restos de cosecha. (Muestra 5)
	0-46	Ap1	Pardo en húmedo (25YR 4/2) y textura franco-arcillo-arenosa en campo y franca en laboratorio. Bloques subangulares de desarrollo moderado, consistencia friable y no adhesiva, distinción irregular entre horizontes, raicillas presentes. Negativa a carbonatos, positiva a alófanos; pH 5.68 y conductividad eléctrica 14.02 μscm^{-1} . (Muestra 10)
	46-80	Ap2	Pardo rojizo en húmedo (25YR 4/2) y textura franco-arenosa en campo y en laboratorio. Bloques subangulares de desarrollo moderado de consistencia friable y no adhesiva. Crotovinas, presencia de fragmentos de carbón. Negativa a carbonatos, positiva a alófanos; pH 5.62 y conductividad eléctrica 9.24 $\mu\text{s cm}^{-1}$. (Muestra 11)
	80-123	B	Pardo rojizo (5Y 5/4) y textura franco-arenosa en húmedo en campo y en laboratorio. Bloques angulares. Negativa a carbonatos, positiva alófanos con intensidad; pH 5.78 y conductividad eléctrica 13.93 μscm^{-1} . (Muestra 12)

Texturalmente, es un suelo dominado por arenas y limos, cuyos contenidos de arena van incrementando en el perfil con la profundidad, mientras que arcillas y limos van disminuyendo progresivamente pasando de una textura franca a una franca arenosa como ilustra el gráfico 1 de contenido de partículas en el suelo.

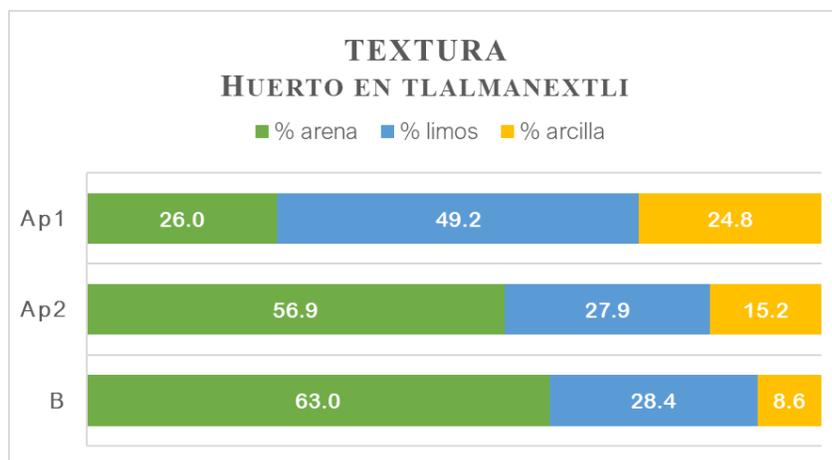


Gráfico 1. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en el huerto de traspatio familiar de Víctor Tlaxcala.

El perfil de suelo presenta porcentajes de C orgánico total del suelo (COT) mayores al 8%, considerados como altos, dicho porcentaje es mayor en el horizonte A2, donde se encontró cisco de carbón vegetal. El porcentaje de COT y el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) expresado en toneladas por hectárea por horizonte se expresan en la tabla 7. La densidad aparente es una medida indirecta de la porosidad del suelo, presentando todo el perfil muy bajas densidades, características de suelos derivados de cenizas volcánicas.

Tabla 7. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Espesor (cm)	%COT	COS (ton ha ⁻¹)
Ap1	0.64	46	8.30	246.37
Ap2	0.45	34	9.24	142.67
B	0.40	43	8.84	153.59

b) Milpa en rotación con cultivos de invierno, borregos y cabras

Este sistema agrosilvopastoril se ubica en las coordenadas 18°40'11.56" N y 97°05'17.54" O, en el paraje de Manzanostla o “lugar de manzanas” a una altitud de 2211 m.s.n.m. Se asienta sobre el lecho de un polje de gran tamaño o *tekochtli* formando una gran planicie o *tlalmanextli* de alrededor de cuatro hectáreas que es utilizada por familias para la siembra de la milpa. En una de las orillas brota el manantial Ateskatl que provoca la influencia del manto freático en el perfil de suelo y zonas de inundación por temporadas en la parte baja del terreno. Presenta una inclinación ligera con pendientes menores al 5%.

La clasificación local de tierras para este sistema es *tlalkostik* o tierra amarilla, barrial (comunicación personal Roberto Ixmatlahua), por su coloración y textura arcillosa. Esta tierra ha sido trabajada a lo largo de los años para mejorar su rendimiento, así lo cuenta don Roberto quien comenta que cuando su papá comenzó a labrarla, hace 40 años, la milpa crecía “como pasto”, fue hasta que aprendió con su suegro la estrategia de abonado con estiércol de chivos y borregos que la productividad aumentó considerablemente. Desde entonces junto a la parcela se estableció un hato de chivos y borregos semi-estabulado, de donde se obtiene el estiércol que se aplica durante la primera limpia o deshierbe de la milpa. A su vez se incorpora aserrín, cisco de carbón, ceniza, estiércol de cerdo y en etapa de floración de maíz se adiciona como fertilizante fosfato diamónico (18-46-00).

La labranza de este *tlalmanextli* se realiza con la yunta de tracción con caballos y el uso de azadón para siembra y deshierbe de la milpa como se aprecia en la figura 51. El componente forestal se ubica en las laderas del *tekochtli* y es fuente de productos forestales maderables y no maderables durante todo el año.



Figura 51. Yunta de tracción con caballo y maíz en etapa de cosecha.

Entre las especies forestales, agrícolas y pecuarias que podemos encontrar en este sistema agroforestal se resumen las más comunes en la tabla 8 y se ilustran en la figura 52.

Tabla 8. Especies forestales, agrícolas y pecuarias de la milpa familiar Ixmatlahua Tlaxcala

Componentes	Nombre común	Especie
Forestales	Tenexokotl o pino gris	<i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i>
	Pino rojo o chichilokotl	<i>Pinus patula</i>
	Ilikuawiltl	<i>Alnus</i> sp.
Agrícolas	Maíz	<i>Zea mays</i>
	Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>
		<i>Phaseolus coccineus</i>
		<i>Phaseolus</i> sp.
	Chícharo	<i>Pisum sativum</i>
Haba	<i>Vicia faba</i>	
Pecuarias	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>
	Borregos	<i>Ovis orientalis</i>
	Cabras	<i>Capra aegagrus hircus</i>



Figura 52. Frijol lamahetl, maíz amarillo y rojo, corralito de borregos anexo a la milpa.

Morfología del suelo

El perfil del suelo está conformado por tres capas con la siguiente secuencia de horizontes: Ap, BCg y CBg (tabla 9). Es un suelo mineral de horizontes árgicos poco desarrollado dominado por arcillas y limos, de estructura de bloques angulares y de coloración parda-amarillenta en el horizonte A y bloques subangulares y coloración parda-rojiza en el horizonte B y C. No existe el horizonte O presentando muy escasos restos de cosecha.

La topografía entre límites de los horizontes es suave, casi plana y de distinción abrupta, siendo evidente la influencia de la profundidad de labranza y la incorporación de materia orgánica hasta los 25 cm de profundidad en el perfil, la distribución de raíces se concentra en este horizonte. Mientras que se continua hasta los 85cm del perfil con condiciones estagnicas y de drenaje deficiente manifestando la cercanía del manto freático.

El perfil no presenta fragmentos gruesos ya que se han eliminado progresivamente durante las actividades de labranza y para facilitar el trabajo de la yunta. Se presentan algunas evidencias de erosión hídrica a las orillas del terreno como canalillos por donde escurre el agua.

Tabla 9. Descripción de horizontes del suelo de la milpa familiar Ixmatalhua Tlaxcala

Fotografía	cm	Hor	Descripción
		O	Escasos restos de cosecha. (Muestra 17)
	0-25	Ap	Pardo amarillento (10YR 5/3) y textura en campo y laboratorio franco-arcillo-limosa. Bloques angulares de desarrollo moderado, consistencia friable y no adhesiva, distinción abrupta entre horizontes, raicillas presentes. Restos de cisco de carbón vegetal. Negativa a carbonatos, débil a alófanos. pH 5.63 y conductividad eléctrica 15.23 μscm^{-1} (Muestra 68)
	25-65	BCg	Pardo amarillento-rojizo (7.5 YR 5/8) y textura arcillo limosa en campo y laboratorio. Condiciones estagnicas por manto freático cercano. Alta acumulación de arcillas; estructura muy fuerte en bloques angulares, consistencia muy firme, moderadamente adhesivo. Débil a carbonatos, débil a alófanos. pH 5.42 y conductividad eléctrica 5.65 μscm^{-1} (Muestra 69)
	65-80	CBg	Pardo amarillento-rojizo (7.5 YR 5/8) y textura en campo y laboratorio arcillo limosa. Condiciones estagnicas por manto freático cercano. Alta acumulación de arcillas; estructura muy fuerte en bloques prismáticos, consistencia muy firme en húmedo, moderadamente adhesivo. Débil a carbonatos, débil a alófanos. pH 5.38 y conductividad eléctrica 7.3 μscm^{-1} (Muestra 70)

Textualmente abundan los limos y arcillas heredados de la lutita, material parental del que se origina este perfil. Los contenidos de arena resultan variables en los distintos horizontes, debido a la dificultad presentada en el laboratorio para disgregar totalmente arcillas y limos compactados pese a la aplicación de distintos métodos de disgregación. Por lo que el porcentaje de arenas presentado en el gráfico 2 no refleja el contenido real de arena en el suelo, sin embargo, estas arcillas y limos compactados por muchos años, han tenido y tienen un comportamiento de arena en el perfil edáfico, mejorando la filtración y estructura de estos suelos.

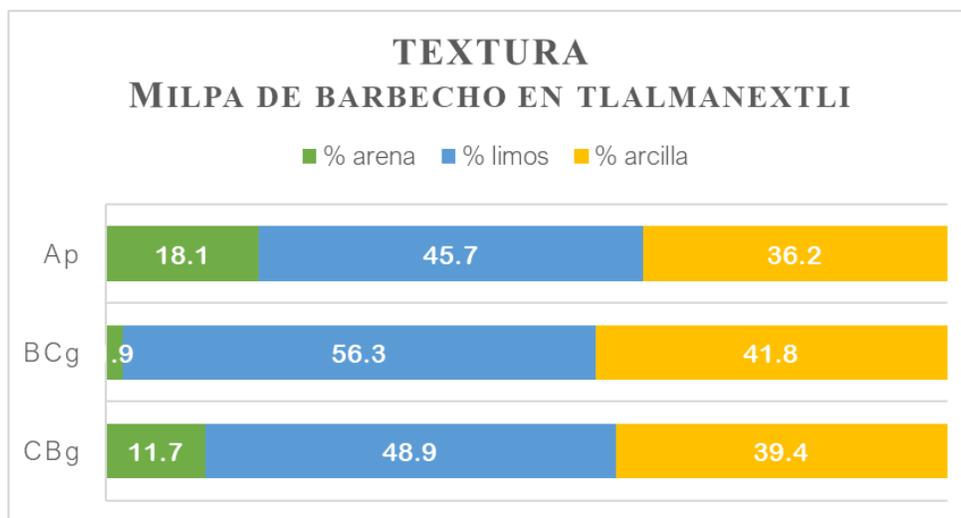


Gráfico 2. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson de la milpa familiar Ixmatlahua Tlaxcala.

El horizonte Ap presenta un contenido medio del 5% de C orgánico total del suelo (COT), mientras que en los subsiguientes este disminuye alrededor del 1% considerándose como bajo. El porcentaje de COT y el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) expresado en toneladas por hectárea por horizonte se expresan en la tabla 10.

Tabla 10. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Espesor (cm)	%COT	COS (ton ha ⁻¹)
Ap	0.82	25	5.08	104.52
BCg	1.1	40	0.71	31.17
CBg	1.15	15	0.82	14.15

La densidad aparente es una medida indirecta de la porosidad del suelo hallándose relacionada con la disposición de las partículas para formar agregados del suelo, la densidad del horizonte Ap es más baja que los horizontes subsiguientes, expresando el efecto del manejo en el mejoramiento de la porosidad y estructura del suelo.

Esta diferenciación abrupta entre horizontes en nutrientes, estructura y porosidad, junto con la presencia de lutitas poco intemperizadas por debajo del horizonte A es diagnóstico de suelos antropomórficos en los que se favorece el desarrollo del suelo por adición de materia orgánica y prácticas de manejo como la labranza.

c) Milpa asociada a árboles frutales (MIAF)

El Rancho los Camaleones de 0.6 ha se ubica en las coordenadas 18° 40' 06" N y 97° 05' 32" O en el paraje de Kamohtla “dónde hay mucha papa” a una altitud de 2196 m.s.n.m. Este sistema agrosilvícola se encuentra en un hombro de ladera y una ladera convexa con pendiente de 18° o fuertemente inclinada. Se ubica en la unidad de paisaje *tlaixtli* o ladera, unidad de paisaje donde tienen lugar procesos de arrastre, caída, deslizamiento y transporte de partículas del suelo y otros materiales.

La clasificación local de tierras es *tlalkostik* o tierra amarilla barrial (comunicación personal con Laura y Cristina Ixmatlahua Tlaxcala) por su coloración y textura arcillosa. Laura y Cristina consideran que es una tierra que al abonarse da buena cosecha, de lo contrario, los rendimientos decrecen. Hace tres años establecieron con asesoría técnica del programa Sembrando Vida árboles frutales como aguacate, durazno y manzana y entre las hileras se sembraron chícharo, haba y papa en invierno y maíz en verano. Hace cuatro años en esta parcela precedió un monocultivo de *Pinus patula* que se tumbó y aprovechó, los restos de la tumba se amontonaron y se dejaron en el sitio para evitar la quema antes de la labranza agrícola con azadón. Mientras que hace 20 años se elaboró carbón con los encinos del bosque que precedió al manejo agrícola. La figura 53 ilustra el estado actual de la parcela.



Figura 53. Milpa y árboles frutales de Laura y Cristina Ixmatlahua.

La parcela se encuentra cercana al hogar lo que permite el acarreo de estiércol de borregos y caballos, a su vez se incorpora bokashi elaborado en las capacitaciones.

A continuación, en la tabla 11 se presentan las especies forestales y agrícolas asociadas a este sistema agrosilvopastoril.

Tabla 11. Especies forestales y agrícolas del sistema MIAF de Laura Ixmatahual.

Componentes	Nombre común	Especie
Forestales	Pino rojo o chichilokotl	<i>Pinus patula</i>
	Ilikuawiltl	<i>Alnus sp.</i>
Agrícolas	Durazno	<i>Prunus persica</i>
	Aguacate Hass	<i>Persea americana</i>
	Pera	<i>Pyrus communis</i>
	Manzana	<i>Malus domestica</i>
	Maíz	<i>Zea mays</i>
		<i>Phaseolus vulgaris</i>
	Frijol	<i>Phaseolus coccineus</i>
		<i>Phaseolus sp.</i>
	Chícharo	<i>Pisum sativum</i>
	Haba	<i>Vicia faba</i>
	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>

Morfología del suelo

El perfil del suelo está conformado por tres capas con la siguiente secuencia de horizontes: Ah, Bg1 y Bg2 (tabla 12). Se trata de un suelo mineral poco desarrollado dominado por arcillas y limos provenientes del material parental o lutita, de estructura fuerte en bloques angulares y coloración pardo a negro en el horizonte A, coloración amarilla y amarilla rojiza para el horizonte B. El horizonte O es delgado y está conformado por hojarasca de pino e ilite.

La topografía entre límites de los horizontes es suave, casi plana y de distinción abrupta, el horizonte A es muy somero con menos de 25 cm de profundidad y se encuentra melanizado producto de la acumulación de materia orgánica y en este se encontró restos de carbón vegetal proveniente de los hornos de carbón hace varios años establecidos. La distribución de raicillas se concentra en este horizonte, sin embargo, raíces de árboles gruesas pueden encontrarse en los subsiguientes horizontes. Parecido al perfil anterior, encontramos condiciones estagnicas en menor intensidad desde los 24 cm al fondo del perfil y de drenaje

deficiente. El perfil no presenta fragmentos gruesos, sin embargo, en el hombro de la ladera encontramos cantos grandes y medianos. No se observaron evidencias de erosión.

Tabla 12. Descripción de horizontes del suelo del sistema MIAF de Laura y Cristina

Fotografía	cm	Hor	Descripción edáfica
	0-3	O	Mantillo, principalmente <i>Pinus patula</i> y <i>Alnus</i> sp. (Muestra 40)
	3-24	Ah	Pardo a negro (10 YR 3/4) en húmedo, color asociado a alta temperatura, textura franco-arcillosa en campo y arcillo limosa en laboratorio. Bloques angulares de desarrollo moderado, consistencia friable y no adhesiva, distinción abrupta entre horizontes, raicillas presentes. Negativa a carbonatos, débil a alófanos. pH 5.42 y conductividad eléctrica 10.85 μscm^{-1} (Muestra 45)
	24-75	Bg1	Amarillo (5Y 8/3), condiciones estagnicas por manto freático cercano; textura arcillo limosa en campo y laboratorio. Bloques angulares con grado de desarrollo fuerte, consistencia firme en húmedo, distinción entre horizonte contiguo gradual. Presenta raíces gruesas cruzando el perfil y en las paredes. Débil a carbonatos, débil a alófanos. pH 5.17 y conductividad eléctrica 4.722 μscm^{-1} (Muestra 46)
	75-120	Bg2	Rojizo amarillento (10 YR 6/4), propiedades estagnicas, color moteado, textura arcillo-limosa en campo y laboratorio, acumulación de arcillas; estructura fuerte en bloques angulares, consistencia muy firme en húmedo, moderadamente adhesivo. Débil a carbonatos, débil a alófanos. pH 5.07 y conductividad eléctrica 3.654 μscm^{-1} (Muestra 47)

Texturalmente las partículas predominantes son limos y arcillas heredados de la lutita, material parental del que se origina este perfil. El horizonte Bg2, como lo representa el gráfico 3 presenta una mayor acumulación de arcillas, siguiéndole los limos y en menor cantidad las arenas; estas últimas también difíciles de disgregar pudiendo ser partículas endurecidas de limo y arcilla en cierta proporción

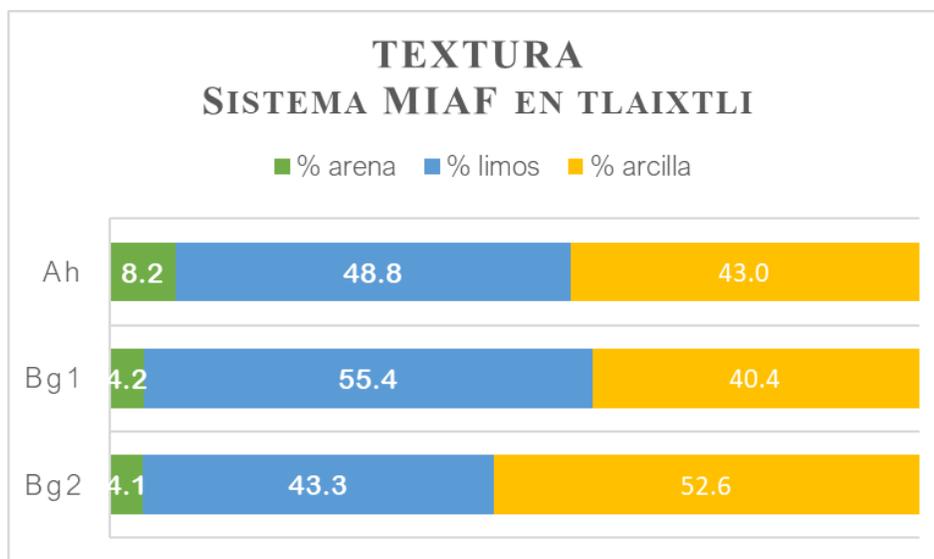


Gráfico 3. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson del sistema MIAF de Laura y Cristina Ixmatlalhua.

El horizonte Ah presenta un contenido alto del 16.76% de C orgánico total del suelo (COT), mientras que en los subsiguientes disminuyen abruptamente alrededor del 1%, considerándose como bajo. El porcentaje de COT y el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) expresado en toneladas por hectárea por horizonte se expresan en la tabla 13.

Tabla 13. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Espesor (cm)	%COT	COS (ton ha ⁻¹)
Ah	0.64	21	16.76	104.52
Bg1	1.01	51	1.01	31.17
Bg2	1.16	45	1.16	14.15

La densidad aparente del horizonte Ah se considera baja y está altamente influida por la acumulación de materia orgánica de la hojarasca forestal y prácticas de manejo como la elaboración de hornos de carbón y la quema que incorpora cenizas al suelo; mientras que el horizonte B presenta densidades altas características de suelos arcillosos con menores contenidos de materia orgánica.

3.2.2. *Sistemas agroforestales concomitantes*

a) Agricultura itinerante con sucesión de bosque mixto de pino-encino

La parcela de Julia Tlaxcala de aproximadamente una hectárea se ubica en las coordenadas geográficas 18° 40' 06"N, 97° 05' 32" O en el paraje de Tlalcomol “en la barranca” por Tiocotla “lugar de ocotes” a una altitud de 2201 m.s.n.m. Este sistema agrosilvopastoril se localiza en el piedemonte medio de una barranca de laderas escarpadas con pendiente de 24° o fuertemente inclinada. Se ubica en la unidad de paisaje *tlaixtli* o ladera, unidad donde tienen lugar procesos de arrastre, caída, deslizamiento y transporte de partículas del suelo y otros materiales.

La clasificación local de tierras es *tlaltlilwik* o tierra negra por su coloración y contenido de materia orgánica, también pudiendo ser denominada *tlalmahara* o *tlalabono* por ser los primeros años de cultivo después del periodo de barbecho (comunicación personal con Julia Tlaxcala). Julia considera que es una tierra muy buena y muy rica, la mejor porque tiene bastante *tlasoltepetl* o *samago* de encino, ilite y pino. El periodo de barbecho tuvo una duración de 26 años, siendo este (2022) su primer año agrícola, a su vez se elaboraron alrededor de 15 hornos de carbón vegetal de encino con un rendimiento aproximado de 7 toneladas de carbón y obteniendo vigas y tablones para la elaboración de muebles de pino. Este terreno se quemará en febrero para sembrar maíz y frijol durante al menos tres años.



Figura 54. Elaboración de hornos de carbón vegetal (noviembre 2021) y siembra de maíz (marzo 2022).

Este sistema agroforestal asocia diversas especies forestales, agrícolas y animales en sus diversas temporalidades como se profundizó en el capítulo 2. Las especies asociadas en la parcela de Julia se describen en la tabla 14. En esta tabla no se contemplan las especies útiles no maderables que son toleradas y/o favorecidas, ni todos los productos de recolección y caza que pueden ser obtenidos de este agroecosistema como lo ilustra la figura 55.

El componente animal es llevado a pastorear durante el periodo de barbecho previo a la siembra, posteriormente los animales son llevados a zonas contiguas a la parcela donde pasan el día y serán llevados a sus corrales por la noche.

Tabla 14. Especies forestales, agrícolas y pecuarias de la parcela de Julia Tlaxcala.

Componentes	Nombre común	Especie
Forestales	Tenexokotl o pino gris	<i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i>
	Tiokotl	
	Pino rojo o chichilokotl	<i>Pinus patula</i>
	Ilikuawitl	<i>Alnus</i> sp.
	Tetzmolawatl o encino capulincillo	<i>Quercus</i> sp.
	Texalawatl	<i>Quercus</i> sp.
	Pitzawatl	<i>Quercus laurina</i>
	Tenexkuawitl	<i>Buddleja cordata</i>
Agrícolas	Maíz	<i>Zea mays</i>
		<i>Phaseolus vulgaris</i>
	Frijol	<i>Phaseolus coccineus</i> <i>Phaseolus</i> sp.
Pecuarias	Borregos	<i>Ovis orientalis</i>
	Cabras	<i>Capra aegagrus hircus</i>

Debido a la calidad de la tierra y a la lejanía de la casa, esta parcela no es abonada, Julia menciona que si le da tiempo y dinero algunos años se le puede aplicar fosfato diamónico con la fórmula 18-46-00 en tiempo de floración del maíz.



Figura 55. Diversidad de productos maderables y no maderables de siembra y recolección de la parcela de Julia Tlaxcala.

Morfología del suelo

El perfil del suelo está conformado por tres capas con la siguiente secuencia de horizontes: Ah1, Ah2 y Bt. Es un suelo mineral medianamente desarrollado, sin evidencias de erosión, bien drenado y que presenta cantos grandes a los 40 cm; está dominado por arcillas, de estructura moderada en bloques subangulares y coloración parda a parda oscura en el horizonte A y de estructura fuerte en bloques angulares y coloración parda amarillenta para el horizonte B. El horizonte O es abundante y está conformado por hojarasca de pino, encino, ilite, etc.

La topografía entre límites de los horizontes es suave un poco inclinada y de distinción gradual, el horizonte Ah1 está melanizado producto de la acumulación de materia orgánica y abundantes restos de carbón vegetal proveniente de los hornos de carbón tradicionales de hace más de 26 años. Los fragmentos de carbón vegetal fueron encontrados de forma dispersa en todo el perfil de suelo. La distribución de raicillas y raíces se concentra en el horizonte A, sin embargo, raíces de árboles gruesas pueden encontrarse en el B.

Una de las limitantes productivas de este terreno es la abundancia de fragmentos gruesos de cantos grandes y muy grandes expuestos en el terreno, sin embargo, para el maíz y el uso forestal diversificado Julia menciona que este no se trata de un impedimento. La tabla 15 presenta la descripción por horizontes del perfil de suelo.

Texturalmente las partículas predominantes son las arcillas, siguiéndole los limos provenientes posiblemente del material parental como las lutitas. El horizonte B presenta una acumulación iluvial de arcillas, apreciándose el aumento progresivo de estas partículas con la profundidad del perfil como se muestra en el gráfico 4. La determinación textural varió en campo y en laboratorio debido a partículas que en la determinación al tacto se palparon como arenas, pero una vez disgregadas, resultaron ser arcillas y limos.

Tabla 15. Descripción de horizontes del suelo del sistema agroforestal de Julia Tlaxcala.

Fotografía	cm	Hor	Descripción
	0-4	O	Mantillo, principalmente <i>Quercus</i> spp. y <i>Pinus</i> spp. (Muestra 56)
	4-10	Ah1	Pardo a pardo oscuro (10 YR 3/2) y textura franco-arcillo arenosa en campo y franco arcillosa en laboratorio. Bloques subangulares de desarrollo moderado, consistencia friable y no adhesivo, fragmentos de carbón de tamaño variable en el suelo y raicillas. Negativo a carbonatos, positivo a alófanos, pH 5.32 y conductividad eléctrica 8.499 μscm^{-1} (Muestra 51)
	10-26	Ah2	Muy similar al horizonte superior pero ligeramente más pálido en color (10YR 4/2); textura franco arcillosa en campo y arcillosa en laboratorio. Bloques subangulares de desarrollo moderado, consistencia friable, distinción entre horizontes clara. Raíces gruesas en la pared lateral del perfil y fragmentos de carbón. Débil a carbonatos, positivo a alófanos, pH 5.47 y conductividad eléctrica 4.79 μscm^{-1} (Muestra 57)
	26-80	Bt	Pardo amarillento (10 YR 6/4), textura franco-arcillo-limosa en campo y arcillosa en laboratorio. Presenta acumulación de arcilla; estructura fuerte en bloques angulares, consistencia firme en húmedo, ligeramente adhesivo, y duro en seco. Débil a carbonatos, positivo a alófanos, pH 6.04 y conductividad eléctrica 7.464 μscm^{-1} (Muestra 58)
	80+	R	Roca caliza continua en el perfil

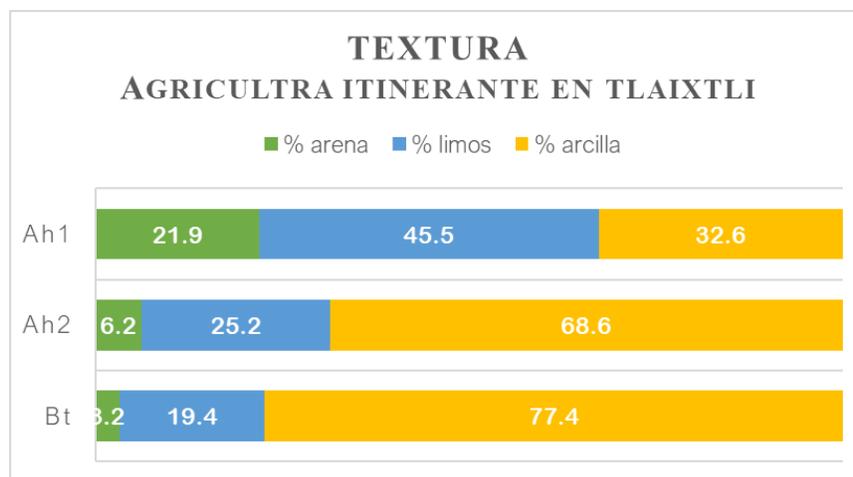


Gráfico 4. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en la agricultura itinerante.

El horizonte Ah1 presenta un contenido alto del 10.28% de C orgánico total del suelo (COT), mientras que el Ah2 disminuye alrededor del 4%. Por otro lado, el horizonte Bt aumenta a 14.61% pudiendo ser provocado por la iluviación y arrastre de partículas y nutrientes a este horizonte. El porcentaje de COT y el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) expresado en toneladas por hectárea por horizonte se expresan en la tabla 16.

Tabla 16. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Espesor (cm)	%COT	COS (ton ha ⁻¹)
Ah1	0.44	6	10.28	27.10
Ah2	0.63	16	4.05	4.07
Bt	0.85	54	14.61	66.99

La densidad aparente del horizonte Ah se aproxima a las densidades de los suelos orgánicos ya que presenta una alta acumulación de materia orgánica de la hojarasca forestal, cisco de carbón y cenizas, resultado de prácticas de manejo como la elaboración de hornos de carbón y la quema. El horizonte B presenta densidades un poco más altas por el aumento en el contenido de arcilla, ambas son densidades características de suelos de origen volcánico.

- b) Agricultura itinerante sucedida por plantaciones de pino (*Pinus patula*) o sistema Taungya

La parcela de Toribio Tlaxcala se ubica en las coordenadas geográficas 18° 40' 10" N y 97° 04' 49" O en el paraje Capoltita o “lugar de Capulines” a una altitud de 2280 m.s.n.m. Este sistema agrosilvícola se localiza en el piedemonte medio de las laderas de un polje con pendiente de 34° o fuertemente inclinada. Por estas características se ubica en la unidad de paisaje *tlaixtli* o ladera, unidad donde tienen lugar procesos de arrastre, caída, deslizamiento y transporte de partículas del suelo y otros materiales.

La clasificación local de tierras es *tlaltlilwik* o tierra negra por la coloración parda oscura y contenido de materia orgánica del horizonte superficial (comunicación personal con Toribio Tlaxcala). Al momento del muestreo, la parcela había sido recién aprovechada forestalmente para la obtención de tablones, puntales, vigas y madera para carpintería. Debido al *samago* de *ocoxal* acumulado en el tiempo de plantación de *Pinus patula*, la clasificación de tierras también se le puede considerar *tlalabono* o *tlalmahara*.

El periodo de plantación de *Pinus patula* tuvo una duración de 19 años, anterior a ello precedió la milpa y la elaboración de hornos artesanales de carbón de encinos de aproximadamente 50 años. Tradicionalmente después de la tumba se realizaba la quema como estrategia para facilitar las labores de siembra y aumentar los rendimientos, actualmente comenta Toribio Tlaxcala que en esta parcela no se realizará la quema generalizada debido a que han sido capacitados por los técnicos de Sembrando Vida para amontonar la hojarasca a curvas a nivel y así evitar esta práctica. Sin embargo, recurrirá a la quema localizada dónde crecen zarzas de abundantes espinas por la dificultad que representa sembrar. La siembra se realizó en marzo de 2022 manualmente con azadón.

Toribio Tlaxcala menciona que esta parcela no requiere de abono los primeros años de la siembra de la milpa, pero que después es necesario llevar estiércol o fertilizar con fosfato diamónico con la fórmula 18-46-00.



Figura 56. Plantación de *Pinus patula* antes y después del aprovechamiento forestal.

Este sistema agrosilvícola asocia especies forestales y agrícolas de forma secuencial, la especie con mayor densidad es *Pinus patula*, encontrando de forma dispersa y otras especies que se describen en la tabla 17. Este sistema no asocia el componente animal debido a la lejanía de la casa y a que existen otras parcelas familiares más cercanas para pastoreo.

Tabla 17. Especies forestales y agrícolas de la plantación de *Pinus patula* en sistema Taungya de Toribio Tlaxcala

Componentes	Nombre común	Especie
Forestales	Pino rojo o chichilokotl	<i>Pinus patula</i>
	Ilikuawiltl	<i>Alnus</i> sp.
	Tetzmolawatl o encino capulincillo	
	Texalawatl	
	Pitzawatl	<i>Quercus laurina</i>
Agrícolas	Maíz	<i>Zea mays</i>
	Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Phaseolus</i> sp.

Morfología del suelo

El perfil del suelo se conforma de cuatro horizontes con la siguiente secuencia: O-A-Bt1-Bt2 (tabla 18). Se trata de un suelo mineral medianamente desarrollado dominado por limos y arcillas, de un horizonte orgánico enriquecido principalmente por hojarasca de pino, y restos de madera producto del aserrío.

Es un suelo bien drenado, sin influencias del manto freático, de coloración parda oscura, parda y amarilla, cuya topografía entre horizontes es suave y de distinción clara entre límite de horizontes. Presenta estructura de bloques subangulares en los primeros horizontes y bloques angulares en el horizonte Bt2. Se observó cisco de carbón distribuido homogéneamente en todo el perfil de suelo, que muy posiblemente data de los últimos hornos de carbón elaborados hace 50 años en el terreno. La distribución de raíces y raicillas se concentra en el horizonte A, encontrando algunas raíces gruesas en el horizonte B.

Se encontró un canto grande que abarcó desde los 50cm de profundidad hasta los 120cm del perfil del suelo, estos cantos son comunes en la parcela.

Tabla 18. Descripción de horizontes del suelo del sistema agroforestal de Toribio Tlaxcala.

Fotografía	cm	Hor	Descripción
	0-7	O	Mantillo, principalmente <i>Pinus patula</i> , y en menor medida <i>Quercus</i> spp. (Muestra 29)
	7-40	A	Pardo a pardo oscuro (2.5 YR 3/3), textura franco-arcillo-arenosa en campo y textura franco-limosa en laboratorio. Bloques subangulares de desarrollo moderado, consistencia friable, no adhesivo, fragmentos de carbón de tamaño variable en el suelo y raicillas. Limite ondulado y claro entre horizontes. Negativo a carbonatos, positivo a alófanos con intensidad, pH 4.83 y conductividad eléctrica 10.96 μscm^{-1} (Muestra 34)
	40-100	Bt1	Amarillo (2.5 YR 8/8); textura franco-arcillo-limosa en campo y arcillosa en laboratorio. Bloques subangulares con grado de desarrollo moderado, consistencia friable en húmedo. Presenta raíces gruesas en la pared del perfil y fragmentos de carbón. Débil a carbonatos, positivo a alófanos. Canto rocoso. pH 4.46 y conductividad eléctrica 5.28 μscm^{-1} (Muestra 35)
	100 - 120	Bt2	Mismo color que el horizonte superior (2.5 YR 8/8), limite difuso entre horizontes, textura ligeramente más arcillo-limosa y estructura más fuerte en bloques angulares, consistencia firme en húmedo y ligeramente adhesiva. Canto rocoso.

Textualmente las partículas predominantes son los limos, siguiéndole las arcillas en el horizonte A, mientras que el horizonte B presenta una acumulación iluvial de arcillas como se observa en el gráfico 5. El pH del suelo es el más ácido registrado en todos los sistemas agroforestales muestreados alcanzando valores de 4.83 en el horizonte A y 4.46 en el horizonte B.

La determinación textural varió en campo y en laboratorio debido a las partículas endurecidas que en la determinación al tacto se palparon como arenas, pero una vez disgregadas en laboratorio, resultaron ser arcillas y limos. Pese a la textura arcillo limosa, estas partículas compactadas actúan como arenas en la matriz de suelo, brindando mejor estructura y drenaje.

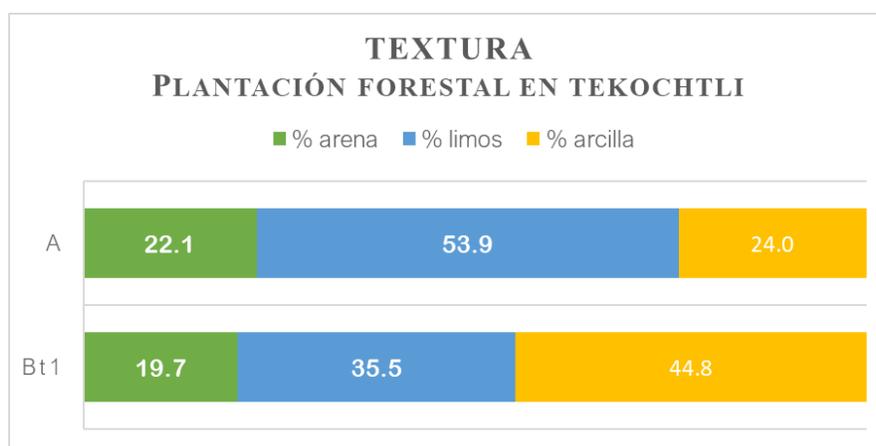


Gráfico 5. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en sistema Taungya de Toribio Tlaxcala.

El horizonte A presenta un alto contenido de C orgánico total del suelo (COT) del 10% mientras que en los subsiguientes este disminuye alrededor del 1% considerándose como bajo. El porcentaje de COT y el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) expresado en toneladas por hectárea por horizonte se expresan en la tabla 19.

Tabla 19. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Espesor (cm)	%COT	COS (ton ha ⁻¹)
A	0.49	40	10.41	202.22
Bt1-Bt2	0.88	60	1.34	70.94

La densidad aparente del horizonte A es más baja que el horizonte subsiguiente, debido al efecto en la disposición de partículas de la materia orgánica proveniente de hojarasca y mantillo.

c) Barbecho mejorado y agrobosque

La parcela “Dos rejoyas” con un área de 25 tareas (aproximadamente 1.5ha) de Marcelino Tlaxcala Tlaxcala se localiza en las coordenadas geográficas 18° 40' 16.06" N y 97° 05' 17.1" O a una altitud de 2284 m.s.n.m. Es un sistema agrosilvícola que se asienta en un polje o *tekochtli*. La parcela presenta áreas escarpadas, inclinadas y casi planas, encontrando pendientes desde los 30° hasta los 2°. El área de muestreo se ubicó en el lecho del polje por lo que presentó un ángulo de inclinación de 8° o ligeramente inclinado. En esta unidad geomorfológica se generan procesos de arrastre en las laderas de las rejoyas que finalmente se acumularán y depositarán en el lecho del *tekochtli*

La clasificación local de tierras para este sistema agrosilvícola es *tlaltlilíwik* o tierra negra por su coloración oscura y muy fértil (comunicación personal con Marcelino Tlaxcala Tlaxcala), es un terreno en su tercer año de siembra de milpa y de establecimiento de *Pinus patula* dispuestos en tresbolillo en algunas áreas, a su vez se puede observar el rebrote de árboles como encinos, ilites y especies toleradas y fomentadas como lo ilustra la figura 57.



Figura 57. Tekochtli en su tercer año de establecimiento de milpa asociado a diversas especies forestales.

El último barbecho del predio tuvo una duración de 25 años posterior al aprovechamiento forestal maderable y no maderable del bosque mixto de pino-encino, en el cual se elaboraron hornos artesanales de carbón.

Para la preparación del terreno para la siembra se realiza la roza, tumba y quema y se siembra de forma manual con azadón, se trabaja de forma familiar, a través de esquema de trabajo

rotativo o mano-vuelta y trabajo contratado. Debido a que este sistema agrosilvícola involucra y acopla una alta diversidad de especies las cuales se resumen en la tabla 20 y se ilustran en la figura 58 representan una fuente de bienes para el consumo y la venta tales como carbón vegetal, tablonés, puntales, vigas y madera para carpintería; productos de la milpa como papa extranjera, frijol, chile, calabaza, frutos silvestres, etc. Algunos de estos productos don Marcelino los vende los fines de semana en el mercado regional de Zongolica.

Tabla 20. Especies forestales y agrícolas del agrobosque de Marcelino Tlaxcala

Componentes	Nombre común	Especie
Forestales	Tenexokotl o pino gris	<i>Pinus strobus</i> var. <i>chiapensis</i>
	Pino rojo o chichilokotl	<i>Pinus patula</i>
	Ilikuawitl	<i>Alnus</i> sp.
	Tetzmolawatl o encino capulincillo	
	Tlaxca	<i>Cupressus</i> sp.
	Nexawatl o encino blanco	<i>Quercus calophylla</i>
	Sauco	<i>Sambucus mexicana</i>
	Pitzawatl	<i>Quercus laurina</i>
	Tenexkuawitl	<i>Buddleja cordata</i>
Agrícolas	Maíz	<i>Zea mays</i>
	Frijol	<i>Phaseolus coccineus</i> <i>Phaseolus</i> sp.
	Aguacate de rancho	<i>Persea</i> sp.
	Tomate de árbol	
	Tomate cimarrón	
	Extranjero o papa de agua	<i>Oxalis tuberosa</i>



Figura 58. Tomate cimarrón, extranjero o papa de agua, maíz y pino.

Morfología del suelo

El perfil de suelo está conformado cuatro horizontes con la siguiente secuencia: Oe-A-AB-BA, es un suelo que presenta alta acumulación de materia orgánica debido a su ubicación en el lecho del polje sobre el cual crece una cubierta vegetal de *estranguero* (*Oxalis tuberosa*) (tabla 21). Presenta un horizonte hórtico con materia orgánica en fermentación, de más de 20 cm de profundidad que está conformado por aserrín, carbón vegetal, raíces y restos de cosecha y hojarasca, siguiéndole horizontes orgánicos producto de los subsecuentes deslizamientos y acumulación de materiales, a partir del segundo horizonte la concentración de arcillas y limos aumenta por lo que podría tratarse de una transición hacia un horizonte árgico. Se trata de un suelo bien drenado, sin evidencias de erosión, que presenta cantos grandes en el perfil a los 55 cm de profundidad; a su vez, se encontraron muchos fragmentos gruesos superficiales que generan gran diversidad de condiciones edáficas en la parcela.

La topografía entre límites de los horizontes es suave y de distinción gradual. En el horizonte A se encontraron restos de carbón vegetal y tierra carbonizada de forma dispersa provenientes de hornos de carbón y quemadas realizadas hace más de 25 años. La distribución de raíces y raicillas se encuentran principalmente en el horizonte de fermentación y el horizonte A, encontrando también tubérculos de *Oxalis tuberosa*.

En campo no se percibieron cambios texturales entre horizontes, pero en laboratorio se aprecia un ligero aumento en el contenido de arena, que en su mayoría son arcillas altamente compactadas que resistieron a los tratamientos aplicados para su disgregación como puede apreciarse en el gráfico 6.

Tabla 21. Descripción de horizontes del suelo del sistema agroforestal de Marcelino Tlaxcala

Fotografía	cm	Hor	Descripción
	0-23	Oe	Cobertera de “estranguero” (<i>Oxalis tuberosa</i>)
	23-55	A	Horizonte de fermentación formado por aserrín, carbón, y restos vegetales resultado del manejo. (Muestra 17)
	55-90	2A / AB	Pardo oscuro (7.5 YR 4/1) y textura franco-arcillo-arenosa en húmedo en campo y laboratorio. Bloques subangulares de desarrollo moderado, consistencia friable en húmedo y no adhesivo, fragmentos de carbón de tamaño variable en el suelo y raicillas. Límite ondulado entre horizontes. Negativo para carbonatos, positivo para alófanos (Muestra 22)
	90-120	2B/ BA	Pardo oscuro rojizo (7.5 YR 5/3); textura franco-arcillo-arenosa en campo y laboratorio. Bloques subangulares con grado de desarrollo moderado, consistencia friable en húmedo y no adhesivo. Fragmentos de carbón de tamaño variable. Canto rocoso. Negativo para carbonatos, positivo para alófanos (Muestra 23)
			Ligeramente más rojizo que el anterior, misma textura y estructura, límite irregular (Muestra 24)

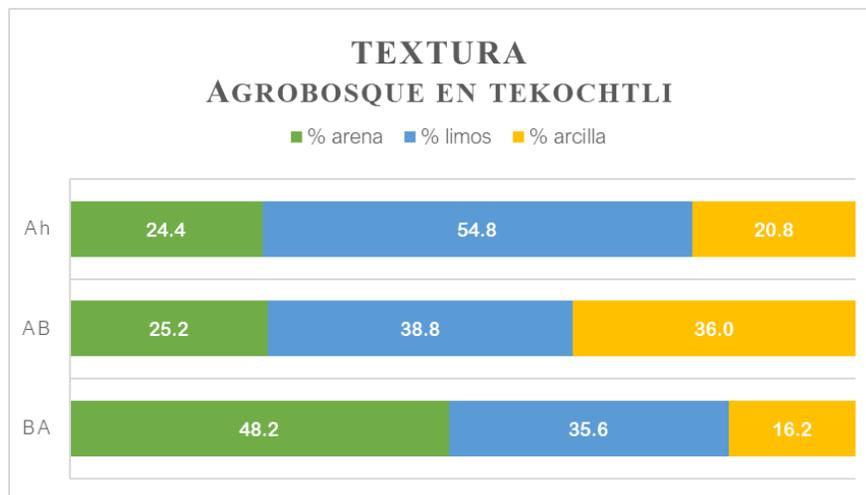


Gráfico 6. Textura por método de sedimentación de la pipeta de Robinson en agrobosque de Marcelino Tlaxcala.

En todo el perfil del suelo se presenta un contenido muy alto de C orgánico del suelo (COT). En el primer horizonte Ah se registra un contenido del 12.5% de C, que aumenta en el horizonte AB hasta un 15.4% de C, mientras que en BA disminuye al 9.9% de C. El porcentaje de COT y el almacén de carabono orgánico del suelo (COS) expresado en toneladas por hectárea por horizonte se expresan en la tabla 22.

Tabla 22. Porcentaje de COT y almacén de COS por horizonte.

Horizonte	Densidad aparente (g/cm ³)	Espesor (cm)	%COT	COS (ton ha ⁻¹)
Ah	0.40	32	12.58	159.5
AB	0.44	35	15.43	239.91
BA	0.45	30	9.96	135.60

La densidad aparente de los tres horizontes se considera baja y es característica de horizontes ándicos y horizontes orgánicos. En el perfil la acumulación de materia orgánica de la hojarasca forestal y prácticas de manejo como la elaboración de hornos de carbón, aserrado y quema se manifiestan claramente.

3.2.3. *Resumen comparativo de prácticas de manejo de los SAF estudiados*

En la tabla 23 se presenta un resumen comparativo de las principales prácticas de manejo de los sistemas agroforestales estudiados que tendrán un impacto directo en la concentración de nutrientes y procesos edáficos. De manera general la labranza de todos los sistemas se realiza de forma manual a excepción de la milpa que adopta el arado con yunta, el sistema MIAF presenta innovaciones en la labranza ya que adopta curvas a nivel. El barbecho o descanso agrícola, la tumba de especies forestales, la elaboración de carbón y la quema de la biomasa sobre el suelo se realiza únicamente en sistemas secuenciales como la agricultura itinerante y el agrobosque; en el sistema Taungya también se lleva a cabo la tumba y quema, pero a partir de su establecimiento ya no se elaborará carbón vegetal.

El pastoreo es una práctica recurrente en la agricultura itinerante, mientras que en los sistemas intensivos como la milpa y el huerto de traspatio su manejo es semi-estabulado y estabulado. En otros sistemas el pastoreo puede estar presente, pero se lleva a cabo de manera esporádica en los linderos de los terrenos y caminos.

La fertilización mineral fue una práctica común para todos los sistemas realizada una vez al año en el momento de la floración del maíz, sin embargo, en sistemas como la agricultura itinerante esta práctica es variable y depende de otros factores como el ingreso económico. El abonado orgánico con compostas e insumos orgánicos es una técnica cada vez es más conocida en la comunidad, sin embargo, se realiza únicamente en sistemas cercanos a las casas como los huertos y las milpas. El abonado con estiércoles tiene una larga tradición en la comunidad, y se realiza con mayor frecuencia en los sistemas concomitantes como la milpa, el huerto y el sistema MIAF.

Tabla 23. Principales prácticas de manejo por sistema agroforestal estudiado.

SAF	Unidad de paisaje	Labranza	Quema	Descanso agrícola (Barbecho)	Fertilización	Elaboración de carbón vegetal	Manejo animal
A. itinerante	<i>tlaixtli</i>	Manual	Primer año	15 a más años	No se realiza	Se realiza	Pastoreo
MIAF	<i>tlaixtli</i>	Manual a curvas de nivel	No se realiza	Siembra continua	Bokashi Estiércoles	No se realiza	No se realiza
Agrobosque	<i>tekochtli</i>	Manual	Primer año	Menor de 15 años	18-46-00 en la milpa	Se realiza	No se realiza
Taungya	<i>tekochtli</i>	Manual	Primer año	De 15 a 30 años	Al tercer año 18-46-00	No se realiza	No se realiza
Huerto de traspatio	<i>tlalmanextli</i>	Manual en terrazas	No se realiza	Siembra continua	Estiércoles Restos de cocina Composta 18-46-00	No se realiza	Semi-estabulado y estabulado
Milpa	<i>tlalmanextli</i>	Arado con yunta	No se realiza	Siembra continua	Estiércol de caballo, borrego. 18-46-00	No se realiza	Semi-estabulado

3.3. Almacenes de C, N y P en mantillo de seis sistemas agroforestales.

En las tablas 24 y 25 se presentan las medias \pm el error estándar de parámetros fisicoquímicos, almacenes de carbono, nitrógeno, fósforo y los cocientes C:N, C:P y P:N del mantillo de los seis sistemas agroforestales estudiados en la comunidad de Zacamilola.

Se encontraron diferencias significativas para los parámetros fisicoquímicos, el contenido de nutrientes y sus cocientes, a excepción del pH y la relación C:N de los seis sistemas agroforestales.

Tabla 24. Medias (\pm error estándar) de pH, conductividad eléctrica (CE), almacén de carbono (C) y almacén de nitrógeno (N) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ($p < 0.05$). Unidad de muestreo cilindro de 17cm de diámetro.

Sistema	Unidad geomorf.	Peso seco (g)	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$)	C (ton ha^{-1})	N (ton ha^{-1})
A. itinerante	<i>tlaixtli</i>	88.67 (3.92) a	5.43 (0.28)	25.4 (1.5) a	15.86 (1.86) a	26.36 (2.79) a
MIAF	<i>tlaixtli</i>	141.4 (17.75) a	5.98 (0.05)	32.3 (5.0) a	16.92 (2.67) a	21.82 (3.06) ab
Agrobosque	<i>tekochtli</i>	26.17 (14.09) ab	6.21 (0.24)	29.1 (7.0) a	3.38 (1.50) b	5.10 (2.74) c
Taungya	<i>tekochtli</i>	69.6 (14.32) ab	5.77 (0.55)	25.1 (2.7) a	11.61 (2.58) a	15.05 (2.61) ab
Huerto	<i>tlalmanextli</i>	10.35 (3.92) b	6.6 (0.06)	77.4 (10.8) b	1.44 (0.50) b	2.41 (0.86) c
Milpa	<i>tlalmanextli</i>	6.06 (1.94) b	6.52 (0.11)	78.1 (5.5) b	0.45 (0.06) b	0.83 (0.3) c

Tabla 25. Media (\pm error estándar) de almacén de fósforo (P) y cocientes de nutrientes C:N, C:P y N:P (\pm error estándar) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ($p < 0.05$). Unidad de muestreo cilindro de 17cm de diámetro.

Sistema	Unidad geomorf.	P (ton ha^{-1})	C:N	C:P	N:P
A. itinerante	<i>tlaixtli</i>	0.82 (0.08) b	0.61 (0.03)	19.51 (1.17) a	32.23 (1.40) a
MIAF	<i>tlaixtli</i>	1.80 (0.50) a	0.76 (0.03)	10.46 (1.39) b	13.65 (1.64) c
Agrobosque	<i>tekochtli</i>	0.44 (0.27) b	0.78 (0.08)	10.60 (1.98) ab	13.17 (1.20) c
Taungya	<i>tekochtli</i>	0.64 (0.10) b	0.76 (0.06)	17.72 (1.33) a	23.59 (1.57) b
Huerto	<i>tlalmanextli</i>	0.26 (0.10) b	0.60 (0.03)	5.81 (0.43) b	9.59 (0.34) c
Milpa	<i>tlalmanextli</i>	0.10 (0.04) b	0.94 (0.04)	8.20 (3.58) ab	8.56 (0.31) c

En el caso de los almacenes de nutrientes la prueba F de Levene reveló que no se cumplía el supuesto de homogeneidad de varianza para el almacén (ton ha⁻¹) de C (p=0.013), N (p=0.003) y P (p=0.022). Por lo tanto, la prueba de Welch fue utilizada para los análisis subsiguientes. La prueba de Welch reveló un efecto principal estadísticamente significativo por tipo de sistema agroforestal con un tamaño de efecto grande para C ($F_{(5, 9.42)}=24.952$, $p < 0.001$, $\omega^2=0.75$), para N ($F_{(5, 9.89)}=25.534$, $p < 0.001$, $\omega^2=0.804$) y para P ($F_{(5, 15.12)}=5.442$, $p < 0.001$, $\omega^2=0.728$); y un efecto principal significativo por unidad geomorfológica con un tamaño de efecto grande para C ($F_{(2, 12.697)}=54.124$, $p < 0.001$, $\omega^2=0.667$), para N ($F_{(2, 13.22)}=56.847$, $p < 0.001$, $\omega^2=0.517$) y para P ($F_{(2, 15.238)}=11.423$, $p < 0.001$, $\omega^2=0.388$).

Se realizaron comparaciones por pares de las medias marginales estimadas utilizando el procedimiento Post Hoc de Games Howell con la corrección de Tukey mostrando que los almacenes de C, N y P fueron significativamente mayores para los sistemas con barbechos o cultivos forestales precedentes, tales como la agricultura itinerante, el sistema MIAF, y el sistema Taungya con *Pinus patula*; así mismo fueron significativamente mayores en los sistemas ubicados en la unidad geomorfológica tlaixtli o de alta pendiente, intermedios en la unidad *tekochtli* o rejoyas y menores en los sistemas ubicados en la unidad *tlalmanextli* o planicies como puede verse gráficamente en los gráficos 7, 8 y 9.

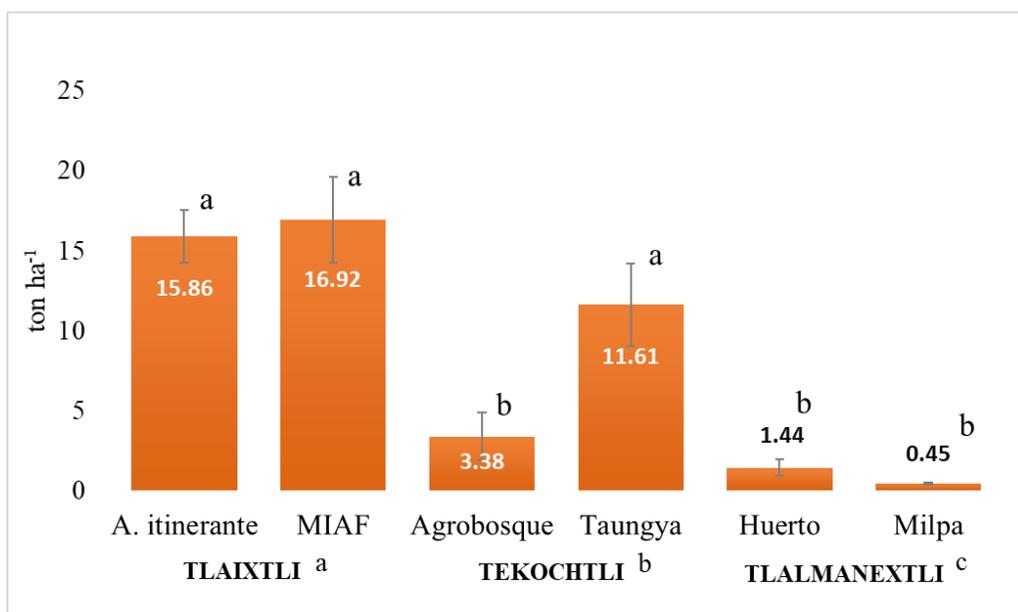


Gráfico 7. Media (\pm error estándar) del almacén de carbono (C) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ($p < 0.1$) entre los tratamientos.

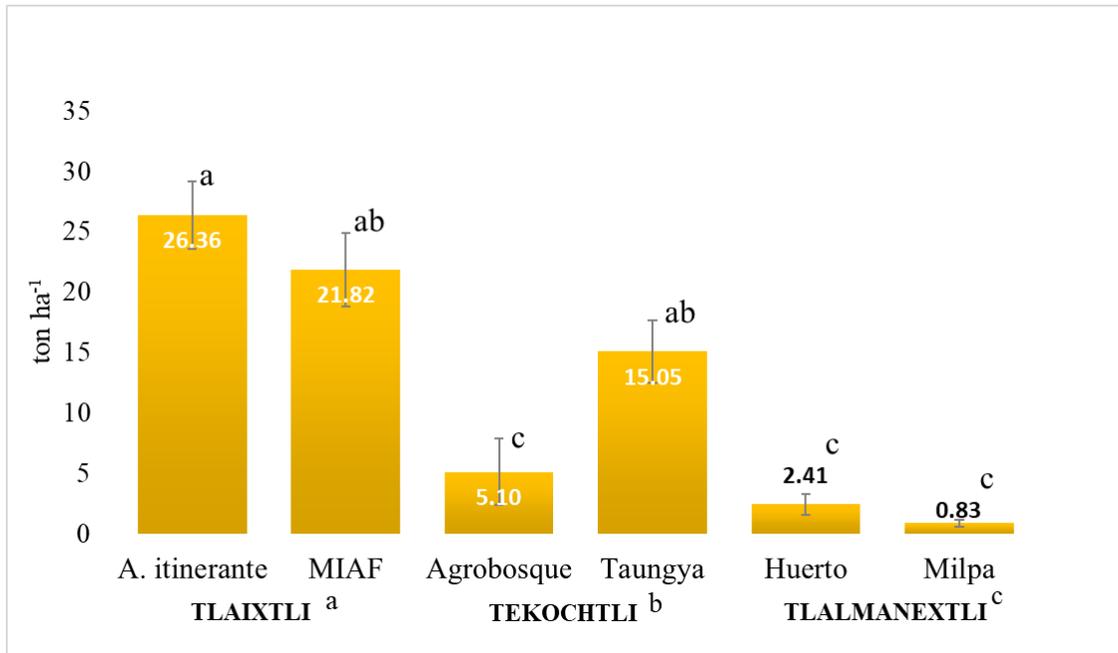


Gráfico 8. Media (\pm error estándar) del almacén de nitrógeno (N) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ($p < 0.1$) entre los tratamientos.

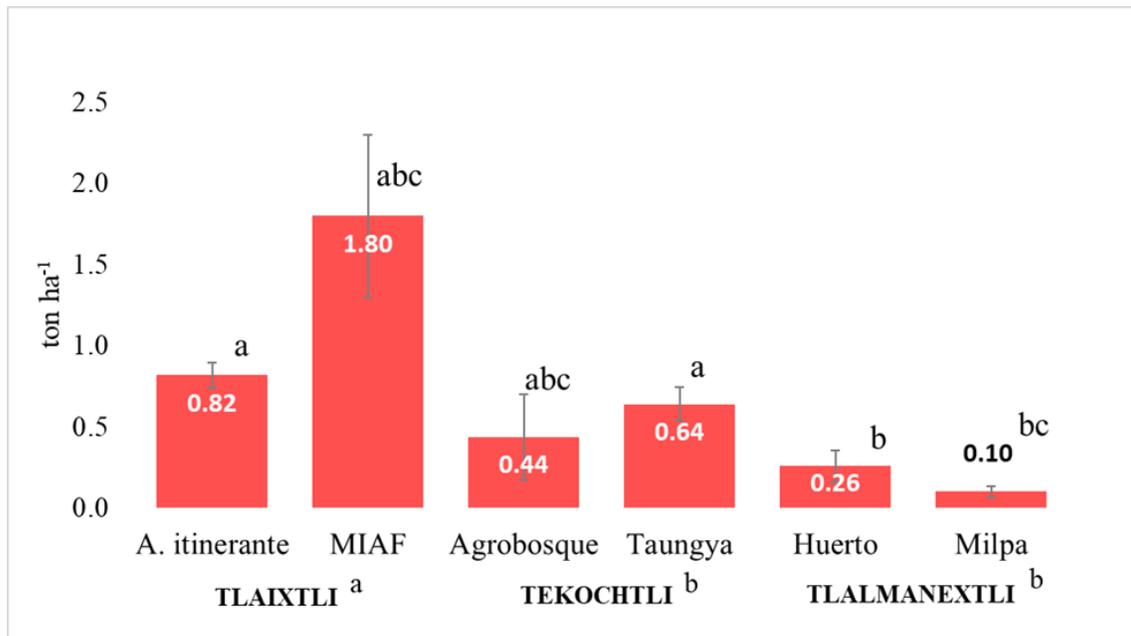


Gráfico 9. Media (\pm error estándar) del almacén de fósforo (P) en el mantillo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ($p < 0.1$) entre los tratamientos.

Para conocer las tasas de mineralización del mantillo y con ello su velocidad de degradación del C por microorganismos se realizaron incubaciones in vitro, el mantillo proveniente del huerto de traspatio compuesto principalmente por restos de la milpa y algunos frutales, fue el tratamiento que mayor mineralización presentó como se observa en el gráfico 10. Debido a la escasez de mantillo en el sistema milpa, esta prueba no se realizó para este tratamiento.

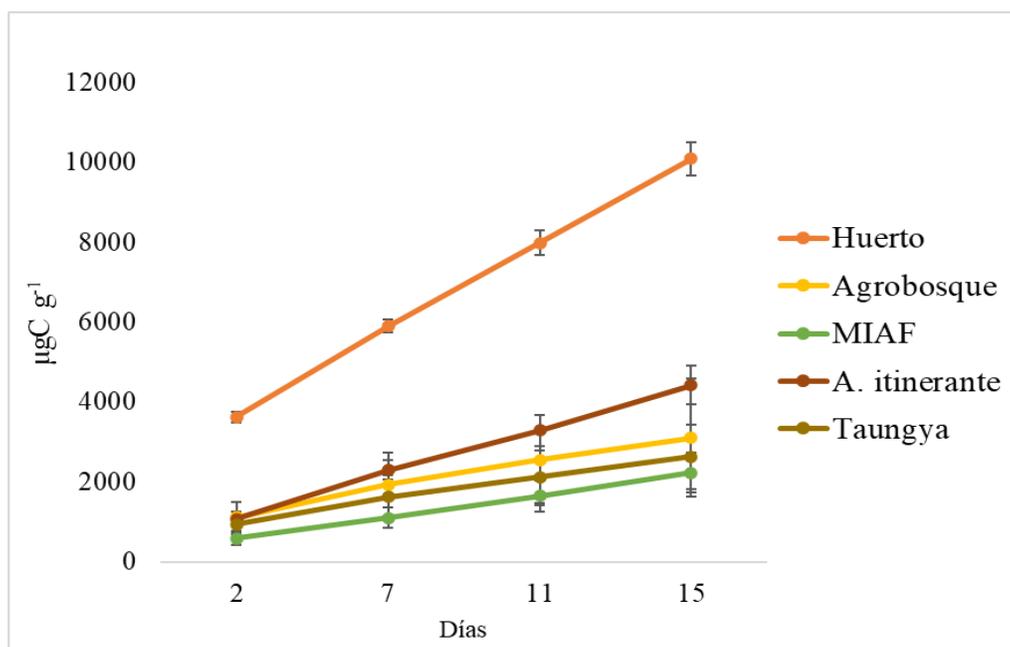


Gráfico 10. Mineralización potencial ($\mu\text{gC g}^{-1}$) en el mantillo de cinco sistemas agroforestales de Zacamilola con error estándar.

3.4. Almacén de carbono orgánico en el suelo (0-30cm)

En la tabla 26 se presentan las medias de pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, %C y almacén de carbono orgánico del suelo (COS) en los primeros 30 cm de profundidad de seis sistemas agroforestales en Zacamilola. Los almacenes de carbono fueron reportados en unidades de masa equivalente como recomienda la FAO (2020) al comparar suelos de distintas densidades.

El agrobosque es un sistema agroforestal que integra el manejo tradicional con los manejos innovadores de modo que después del aprovechamiento forestal se realizan hornos de carbón y se quema como a la usanza tradicional, mientras que a la vez destina áreas para siembra de *Pinus patula*, milpa e integra gran diversidad de especies de usos múltiples. Este uso intensivo pero que parte de las tecnologías agroforestales permite potencializar el almacén de carbono orgánico mientras que se acumula año con año dentro del *tekochtli*.

Tabla 26. Medias (\pm error estándar) de conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (dap), porcentaje de carbono (%C) y almacén de carbono orgánico del suelo equivalente (COS equivalente). Profundidad de muestreo de 0 a 30 cm en seis sistemas agroforestales de Zacamilola. Letras minúsculas representan diferencias significativas ($p < 0.05$)

Sistema	Unidad geomorf.	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$)	dap (g/cm^3)	%C	COS eq. (ton ha^{-1})
A. itinerante	<i>tlaixtli</i>	4.91 (0.18) a	9.5 (1.5) a	0.45 (0.01) a	12.7 (0.7) a	166.1 (9.6) ab
MIAF	<i>tlaixtli</i>	5.85 (0.17) b	18.1 (1.2) b	0.67 (0.08) a	9.6 (0.7) a	124.8 (9.1) bc
Agrobosque	<i>tekochtli</i>	5.98 (0.14) b	18.0 (3.0) b	0.44 (0.07) a	16.1 (2.1) a	210.7 (27.1) a
Taungya	<i>tekochtli</i>	5.17 (0.10) ab	14.0 (0.6) ab	0.47 (0.02) a	12.8 (0.3) a	167.6 (3.9) ab
Huerto	<i>tlalmanextli</i>	5.48 (0.09) ab	18.2 (1.8) b	0.53 (0.01) a	11.7 (0.9) a	153.1 (12.0) ab
Milpa	<i>tlalmanextli</i>	5.76 (0.04) b	17.3 (1.3) b	0.79 (0.02) b	5.0 (0.3) b	65.1 (4.6) c

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos del suelo la agricultura itinerante y el sistema Taungya se diferenciaron de otros sistemas por su bajo pH, lo que afecta directamente la disponibilidad de nutrientes, elevando las concentraciones de iones tóxicos como el Fe y Al en la solución del suelo, consecuentemente estos dos sistemas presentaron las conductividades eléctricas más bajas, siendo una medida indirecta de la concentración de sales en la solución del suelo (Weil y Brady, 2017).

La densidad aparente es una medida indirecta de compactación y porosidad en el suelo, la milpa presentó una mayor densidad significativamente a otros sistemas, esto puede estar asociado al esfuerzo de labranza con la yunta, a la permanente perturbación física del suelo y a la poca cobertura vegetal.

Para comparar estadísticamente la varianza entre las medias de los almacenes de COS se utilizó un análisis de varianza unidireccional (ANOVA). Se comprobó la distribución normal

y linear de los datos a través del análisis de la asimetría y kurtosis y la prueba de Shapiro-Wilks, mientras que la prueba F de Levene comprobó que los datos cumplen el supuesto de homogeneidad de varianza ($p=0.100$).

El ANOVA reveló un efecto principal estadísticamente significativo por tipo de sistema agroforestal con un tamaño de efecto grande para C ($F_{(5, 18)}=13.33$, $p=1.595e^{-5}$, $\eta^2=0.787$) y un efecto principal significativo por unidad geomorfológica con un tamaño de efecto grande para C ($F_{(2, 21)}=7.573$, $p=0.003$, $\eta^2=0.419$).

Se realizaron comparaciones por pares de las medias marginales estimadas utilizando la prueba de Tukey mostrando que el almacén de COS equivalente fue significativamente mayor para el agrobosque y menor para la milpa; así mismo fueron significativamente mayores en los sistemas ubicados en la unidad geomorfológica *tekochtli* o rejoyas, comparativamente con los ubicados en las unidades *tlaixtli* y *tlalmanextli* como puede apreciarse en el gráfico 11.

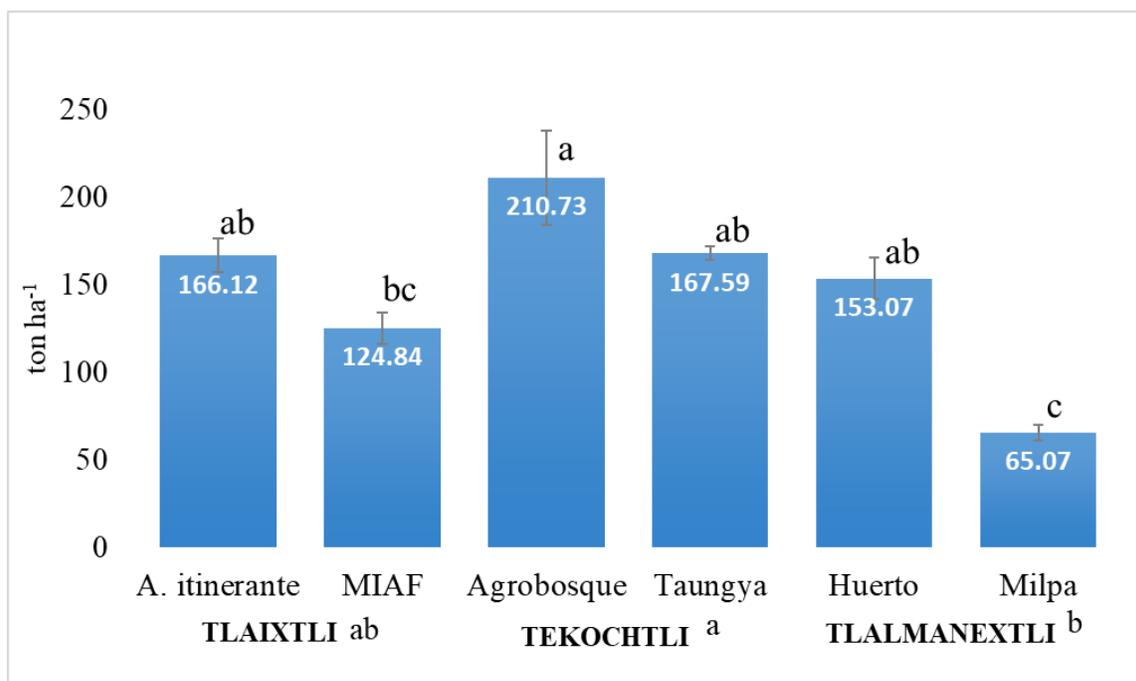


Gráfico 11. Almacén de carbono orgánico equivalente del suelo (ton ha⁻¹) en seis sistemas agroforestales de Zacamilola. Letras minúsculas diferentes representan diferencias significativas ($p<0.1$) entre los tratamientos.

Se analizaron los resultados de mineralización del suelo de estos seis sistemas agroforestales encontrando tasas mayores de mineralización en la agricultura itinerante, mientras que el huerto de traspatio y la milpa presentaron las tasas de respiración microbiana más bajas en comparación con los demás tratamientos. El gráfico 12 ilustra la progresión en la acumulación de la respiración microbiana a lo largo de la incubación por tratamiento.

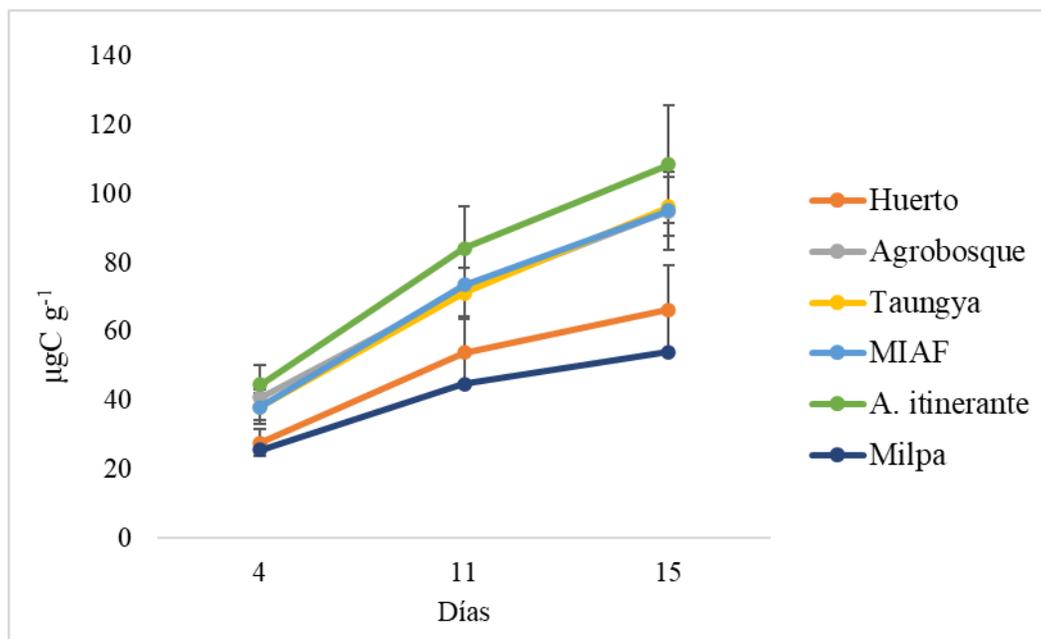


Gráfico 12. Mineralización potencial ($\mu\text{gC g}^{-1}$) en el suelo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola con error estándar.

La calidad de la materia orgánica disponible para microorganismos y su grado de protección ante la degradación se estudió fraccionando la materia orgánica del primer horizonte de los seis sistemas. El gráfico 13 ilustra los distintos porcentajes de materia orgánica fina asociada a minerales (MOAMf), materia orgánica gruesa asociada a minerales (MOAMg), materia orgánica particulada ocluida (MOPO) y materia orgánica particulada libre (MOPL). El gráfico 14 indica la concentración total de C (mg g^{-1}) en cada una de las fracciones por sistema agroforestal.

Se encontró que la milpa es el sistema en el que podemos encontrar mayores proporciones de materia orgánica particulada, en mayor medida en estado libre y con ello, más fácilmente degradable. Por otro lado, el huerto de traspatio y el sistema Taungya fueron los sistemas donde encontramos mayores proporciones de materia orgánica asociada a minerales y por ende más protegida ante la degradación.

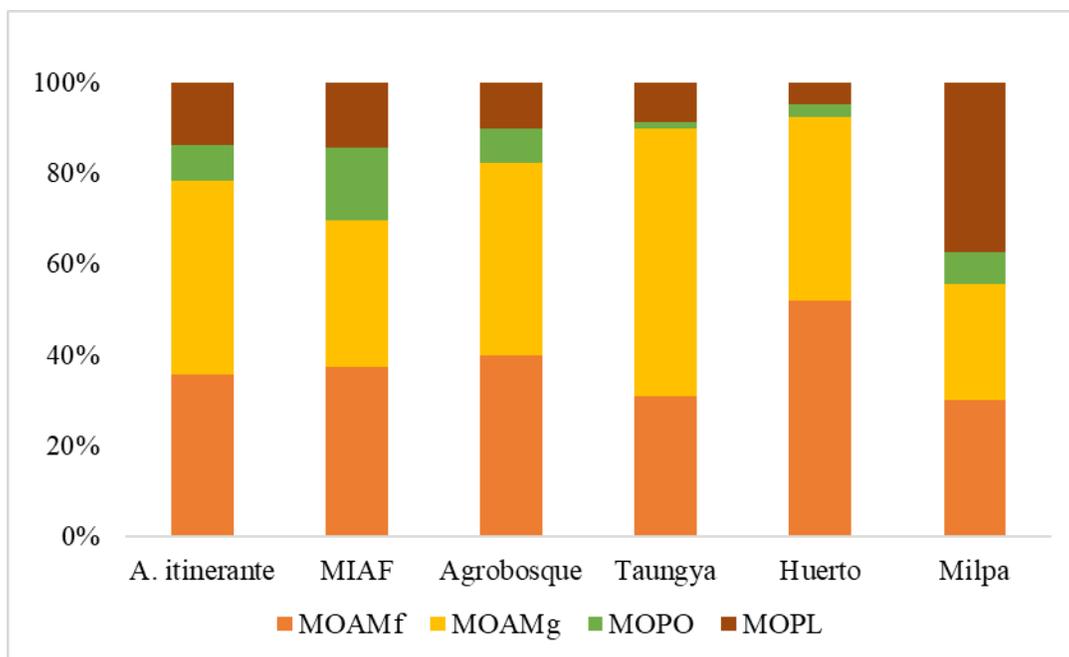


Gráfico 13. Distribución del contenido de COT en las fracciones de materia orgánica de las muestras de suelo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola. MOPL: materia orgánica particulada libre, MOPO: materia orgánica particulada ocluida, MOAMG: materia orgánica asociada a minerales gruesa (>62 μ m), MOAMF: materia orgánica asociada a minerales fina (<62 μ m).

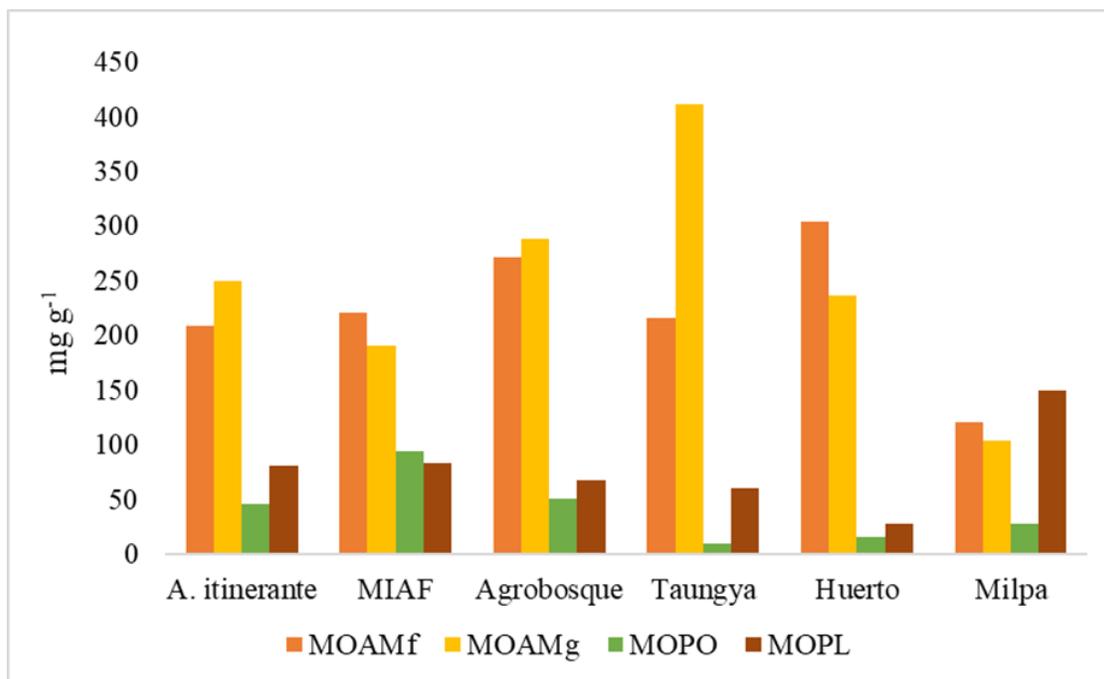


Gráfico 14. Concentración de COT en las fracciones de materia orgánica de las muestras de suelo de seis sistemas agroforestales de Zacamilola. MOPL: materia orgánica particulada libre, MOPO: materia orgánica particulada ocluida, MOAMG: materia orgánica asociada a minerales gruesa (>62 μ m), MOAMF: materia orgánica asociada a minerales fina (<62 μ m).

X. Discusión

Desde la epistemología ambiental se ha insistido que las ontologías, epistemologías y éticas relacionales de los pueblos indígenas por su entendimiento holístico del mundo, se contraponen a la lógica mecanicista que objetiva a la naturaleza y que ha sido causa de la degradación ambiental actual (Naess, 2007; Spinoza, 2011; Giraldo-Palacio y Toro, 2020). Para las comunidades indígenas el valor de lo que se considera “recursos naturales” abarca más allá del factor económico pues no puede aislarse de la espiritualidad, la religión, la política y las interacciones sociales entre humanos y no humanos (Kenneth, Ndlovu, 2017). Para muchas agricultoras y agricultores de la sierra de Zongolica y particularmente de la comunidad de Zacamilola esto es así. Las relaciones cotidianas que se expresan con la tierra se expanden más allá de la visión económica y productiva que, si bien son importantes, no pueden desarrollarse sin el cobijo de lo simbólico, lo espiritual y lo ceremonial. Los *xochitlalilistli* son una de las expresiones más tangibles de respeto hacia *tlalnanzin* o la madre tierra, a *tlalokan nana* y *tlalokan tata* y a los múltiples cuidadores del territorio junto con los santos. Son también un reconocimiento de su injerencia en el rumbo de las siembras, cosechas y de la misma vida humana que enmarca el quehacer agroforestal y la configuración del territorio (ver anexo 2).

Las ontologías relacionales en torno al suelo o la tierra y cómo estas persisten conceptual y epistemológicamente frente a las formas de gobernanza de raíz colonial, no sin tensiones políticas de por medio, han sido documentadas en diversos grupos indígenas: la defensa de *Tzuultaq'a* o corazón de la tierra por los mayas q'eqchi' y poqomchi' de Guatemala (Borja-Hernández, Limón-Aguirre y Giraldo-Palacio, 2020), la reivindicación de *Pachamama* para quechuas y aymaras (Gudynas, 2009), la defensa de Quilish y Ausangate montañas sagradas de los Andes (de la Cadena, 2020), el conocimiento profundo de *echér'i* para los purhépechas en Michoacán (Barrera-Bassols y Zink, 2003) y la lucha por *nantik lu'um* de los maya-tojolabales en Chiapas (Núñez-Rodríguez, 2004).

La importancia de la persistencia histórica y dinámica de principios de cuidado y respeto en torno a la tierra en la sierra de Zongolica radica en que constituye el principal argumento de su conservación y protección por el hecho de cuidar lo que hace parte de la propia vida.

Desde diversas disciplinas se ha propuesto que la racionalidad económica-instrumental de la lógica agroproductiva han sido la causa de degradación y contaminación de millones de hectáreas de suelos a nivel mundial dando lugar a prácticas de manejo insostenibles que han minado su fertilidad, productividad y salud a largo plazo (Hellin, 2006; Shiva, 2009; Nicholls, Altieri y Vázquez, 2015).

De la misma forma, estos sentidos de existencia son el fundamento de la gama de conocimientos ecológicos tradicionales en torno al suelo. En Zacamilola se encontró que este conocimiento es profundo y diverso tanto en su conceptualización, categorización y aplicación, por lo que, para aproximarnos, se diseñó una metodología mixta e interdisciplinaria, con aportes metodológicos de la etnoedafología, antropología, agroforestería, agroecología y biogeoquímica.

Para desglosar el conocimiento local del suelo se propusieron cuatro conceptos: clases regionales de tierras, unidades de paisaje, clases locales de tierras y toponimias. La diferenciación mayor de tierras por las y los habitantes de Zacamilola (clases regionales de tierras) está basada en el clima y sirve para identificar grandes regiones, *tlaseseyá* o tierra fría y *tlaltotonil* o tierra caliente, esta clasificación puede asociarse con municipios, tipos de vegetación y variaciones agroclimáticas de la sierra (tabla 1). Pulido-Secundino y Bocco-Verdinelli (2016) encontraron que en Comachuén, en la Sierra Purépecha, estos opuestos-complementarios también son utilizados en las clasificaciones regionales de tierras orientadas por el clima y la altitud. Por el contrario, en comunidades de Kenia, a nivel local la clasificación fría, templada y caliente ayuda a designar la calidad y humedad de las tierras (Roba y Oba, 2009).

El siguiente nivel de clasificación expresa la experiencia milenaria de la comunidad de Zacamilola con los componentes esenciales de la epidermis de la tierra (Tricart, 1972) que reviste clases de tierras, unidades de paisaje, nombres de lugares (topónimos) y sus narrativas locales. Se documentaron nueve formas del terreno con las que agricultores y agricultoras describen y clasifican el paisaje (unidades de paisaje), principalmente siendo utilizadas tres para la agricultura *tlaxtli* o pendientes, *tekochtli* o rejoyas y *tlalmanextli* o planicies. De acuerdo con estas unidades de paisaje y sus características asociadas, tales como pedregosidad y pendiente, se adaptan manejos de más a menos intensivos y sistemas

agroforestales simultáneos o secuenciales (tabla 2). A nivel del suelo esta diferenciación de usos se comprende en la asociación de estas geoformas a procesos edafogenéticos distintos que, en sustratos geológicos kársticos como la sierra de Zongolica, son variables y complejos lo que da lugar a suelos con propiedades distintas (van Sleen, 1996).

Esta diversidad es captada por la nomenclatura propia de clases de tierras y rocas. Al respecto se reportaron cinco clases de tierras: *tlalabono* o *tlalmahara*, *tlaltlilwik*, *tlalkostik*, *tlalchichiltik* y *sokital* que describen la tierra principalmente en función de su color, su textura y su calidad (tabla 3); durante la descripción de los perfiles de suelo se percibió que la clasificación pone énfasis en el horizonte superficial con el que agricultoras y agricultores se relacionan de forma habitual. En cuanto al conocimiento tridimensional del suelo, estas clasificaciones pueden referir algunas de sus características y se nutren con la clasificación local de materiales parentales que agrupó seis tipos de rocas: *xoxowiktetl*, *papalotetl*, *soquitl*, *ixtakxal*, *kostikxal* y *tepoachtetl*. A la par de estas clasificaciones existe una gama de adjetivos que califican la calidad del suelo y describen sus estados de degradación.

Las nomenclaturas locales de suelo y paisaje son el reflejo del conocimiento profundo de los múltiples procesos ecológicos, geomorfológicos y edafológicos que configuran el territorio habitado y que de forma articulada e inseparable, resultan orientaciones de decisión y acción, como un ejemplo Martins-Lopes y Girão (2020) documentaron la importancia de los conocimientos geomorfológicos e hidrodinámicos de comunidades pesqueras al norte de Pernambuco, Brasil que han moldeado el paisaje costero y estuarino y que se expresa en la detallada clasificación de geoformas y corrientes que son la base del manejo pesquero de la región.

A su vez, los estudios etnoedafológicos demuestran la riqueza y precisión de las nomenclaturas indígenas de los tipos de suelos y los diversos criterios que las comunidades utilizan para clasificarlos (Barrera-Bassols y Zinck, 2003; Licona-Vargas, et al., 2006; Bocco-Verdinelli y Pulido-Secundino, 2016), se trata de conocimientos tan diversos como la diversidad socio-ecológica planetaria que se desenvuelven en zonas agro-ecológicas consideradas como frágiles y susceptibles a la degradación (Barrera-Bassols *et al.*, 2006) y por sí mismo proporciona la base para el manejo sustentable de la tierra (Paytona *et al.*, 2003). En los ecosistemas serranos estos manejos tradicionales no promueven la monocultura, sino

que abordan la particularidad parcelaria dando lugar a un complejo mosaico paisajístico de agroecosistemas, variedad de hábitats y una alta diversidad biológica y genética, que, entre el balance y el riesgo, lo tradicional y lo moderno, ayudan a satisfacer las necesidades locales familiares y comunitarias.

En el caso de Zacamilola el mosaico paisajístico está conformado por sistemas agroforestales diversos que cumplen funciones múltiples y complementarias; su espacialidad, temporalidad, tecnología y manejo se adaptan a las condiciones microtopográficas y edáficas que pueden ser explicadas en el contexto de las unidades de paisaje identificadas, como se discute a continuación.

Tlaixtli

La unidad de paisaje *tlaixtli*, se caracteriza por fuertes pendientes de procesos erosivos y de arrastre de materiales que tradicionalmente han sido manejadas a través de la agricultura itinerante y que ha adaptado otros manejos más intensivos y/o permanentes como el monocultivo de *Pinus patula* a partir de los 90's impulsado por los programas de aprovechamiento forestal, y recientemente el sistema milpa y árboles frutales (MIAF) impulsado por el programa Sembrando Vida. Las clases de tierra encontradas en esta unidad son *tlalmahara* o *tlalabono*, tierras forestales ricas en *samago* que fueron descritas en los perfiles edáficos con un espesor de mantillo de 5 a 10cm, siguiéndole un horizonte orgánico melanizado de 10 a 25 cm y un horizonte mineral con acumulación de arcillas que progresivamente presenta material parental intemperizado y que abruptamente topa con cantos rocosos medianos y grandes. Cuando estos suelos comienzan a declinar su fertilidad por un uso continuo pueden denominarse *tlalkostik* o tierra amarilla, haciendo referencia a la pérdida o adelgazamiento del horizonte orgánico, o hacer referencia al proceso de degradación como *onihsiktlanki tlalli*, la tierra está cansada.

Por su condición topográfica de altas pendientes y altas condiciones de lavado de nutrientes del suelo, esta unidad de paisaje es la más susceptible a la degradación y los manejos que se adapten en ella tendrán un impacto directo en el mantenimiento de las funciones ecosistémicas del suelo. La agricultura itinerante, antes llamada despectivamente de roza-tumba y quema, desde hace varios años ha sido reivindicada como el sistema agroforestal

más antiguo y quizás el mejor adaptado a las condiciones topográficas, climáticas y edáficas de los ecosistemas intertropicales, puesto que las prácticas de manejo que aplican campesinas y campesinos logran aprovechar temporalmente “el pulso de energía artificial en el bosque” para producir y aprovechar recursos forestales maderables y no maderables y especies cultivadas y no cultivadas en suelos considerados como “poco fértiles” (Warner, 1990; Rojas-Rabiela, 1991; Gliessman, 2002; Carneiro da Cunha, 2020). De hecho, en algunos sustratos geológicos, la agricultura itinerante, en resonancia al ecosistema tropical, no depende tanto del suelo en materia de nutrientes, sino que su fertilidad recae en la biomasa forestal y la red de raíces y micorrizas que funcionan como esponja y retención de nutrientes (Warner, 1990). Es por ello que, posterior al aprovechamiento forestal, la quema tiene un papel crucial para disponibilizar los nutrientes de la biomasa en el suelo, los cuales serán aprovechados por alrededor de 4 o 5 años por la milpa hasta su agotamiento (Fachin *et al.*, 2020). A continuación, proseguirá el barbecho, un manejo activo de la sucesión del bosque, que, junto con la siembra de la milpa y el pastoreo de animales, es la base de los modos de vida serranos de Zongolica (López-Binnqüist, Hidalgo-Ledesma y Panzo-Panzo, 2017; López-Binnqüist *et al.*, 2020).

Para entender el manejo de los ecosistemas tropicales a través de la agricultura itinerante, debemos partir de su característica ecológica clave: la resiliencia (Lugo, 1995); ante perturbaciones temporales con claros menores a tres hectáreas, el bosque se revitaliza y echa a andar mecanismos que permiten su renovación como el rápido crecimiento de plántulas y árboles jóvenes del sotobosque presentes en la periferia del área abierta, la regeneración de plantas a partir de tallos, tocones o raíces de árboles dañados; la germinación de semillas latentes en el suelo de especies sucesionales de crecimiento rápido; y la introducción de semillas dispersadas de los alrededores por animales, pájaros y murciélagos (Janzen, 1970; Warner, 1990; Martínez-Ramos y García Orth, 2007). En sistemas con manejo adecuado, la mayor parte del nitrógeno del suelo permanece después de la quema, la superficie del suelo es protegida por alguna forma de biomasa, las micorrizas del suelo logran sobrevivir y la red radicular se mantiene intacta y viva, lo que facilita la sucesión vegetal y regeneración del bosque (Gliessman, 2002).

En *tlaseseya* o la región fría de la sierra de Zongolica, tradicionalmente la sucesión con manejo activo por parte de agricultoras y agricultores se orienta al aprovechamiento dendroenergético o de producción de carbón vegetal de encino (*Quercus* spp.). Vega-Ortega (2021) documentó este manejo activo a distintas intensidades en los municipios de Tequila y Atlahuilco, en el que los rebrotes de encino provenientes de los tocones dejados después del corte son favorecidos y manejados para lograr ciclos de corta y aprovechamiento de carbón vegetal. Este manejo denominado por las ciencias forestales de “monte bajo o coppice” en la sierra de Zongolica representa una reserva regional de la diversidad genética histórica de encinos ante los cambios de uso de suelo y cambio de prácticas productivas (Vega-Ortega *et al.*, 2021).

La elaboración de hornos artesanales para la producción de carbón en parcela tiene una fuerte influencia en los perfiles y almacenes de carbono orgánico en el suelo de los sistemas agroforestales muestreados en las unidades *tlaxtli* y *tekochtli* como se analizará más adelante, encontrando cisco de carbón a profundidades mayores de 80cm en los perfiles de suelo, posible evidencia de manejo dendroenergético de ciclos anteriores de corta, de entre 20 y 40 años atrás.

Los cambios socioeconómicos y políticos en la sierra han producido un cambio en la dinámica de manejos tradicionales en el *tlaxtli* tales como la pulverización de la propiedad, la necesidad de un ingreso económico monetario y los programas y proyectos políticos en materia agroforestal han provocado la intensificación de la agricultura itinerante y su sustitución por otros sistemas agrícolas y forestales. La intensificación de la agricultura itinerante o el acortamiento de los periodos de barbecho se trata de un fenómeno multicausal generalizado en la agricultura tropical que produce la alteración de los ciclos de recuperación de selvas y bosques, la sobreutilización del fuego, el sobrepastoreo animal, la introducción de especies no adaptadas, una disminución del área basal de especies maderables y un cambio en la composición y disponibilidad de especies cultivadas y no cultivadas (Gliessman, 2002; Dalle y De Blois, 2006; Dalle, Pulido y De Blois; 2011).

En cuanto a la sustitución de la agricultura itinerante, en Zacamilola son comunes las plantaciones comerciales en monocultivo de *Pinus patula* de distintas edades de plantación que representan un ahorro e inversión económica familiar importante y materia prima para

las actividades de carpintería desarrolladas en la comunidad. Desde la perspectiva ecosistémica, la extracción de madera tiene un efecto en reducir la biomasa, alterar la composición de especies, la heterogeneidad espacial del arbolado y las características biofísicas del suelo (humedad, materia orgánica, permeabilidad) modificando los ciclos de nutrientes e hidrológicos y los flujos de energía (Holišová et al., 2016 cit por. Vega-Ortega, 2021). Los sistemas agroforestales asociados a *Pinus patula* se denominaron en esta investigación como sistema Taungya, debido a que previo al monocultivo de pino se siembra milpa en el transcurso de su crecimiento, manejo que puede repetirse o no en el siguiente ciclo de corta.

Por otro lado, el sistema milpa y árboles frutales (MIAF) impulsado por Sembrando Vida ha representado una oportunidad en materia de capacitación en nuevos manejos de las pendientes y la difusión de prácticas agroforestales bien estudiadas por sus contribuciones para el mantenimiento de la fertilidad del suelo, tal como la siembra especies frutales y forestales en curvas a nivel (Gras, 2012). Sin embargo, el manejo de estos sistemas en la unidad de paisaje *tlaxtli*, se confronta con la lógica de manejo tradicional itinerante e impermanente de uso de las pendientes de la sierra; al respecto agricultoras y agricultores han mencionado la dificultad de adaptar dicho manejo debido a la lejanía de las parcelas, la complicación para el manejo post-cosecha y la necesidad de cuidado que tienen algunas especies como los frutales ante la fauna silvestre. Más aún, en las prácticas de la agricultura itinerante confluyen actividades agrícolas, forestales, de recolección, forrajeo animal y caza que se oponen a la sedentarización de la actividad; como desarrolla Carneiro da Cunha (2020) con el concepto de antiodomesticación, se trata de una reafirmación al modo de existencia múltiple que se resiste a la evolución irreversible asumida por los teóricos como universal: desde la recolección de alimentos hasta la vida domesticada. El aprovechamiento itinerante brinda la posibilidad de transitar a voluntad entre ambos extremos y coincide con la base material y simbólica del manejo del bosque con derechos no exclusivos, del reconocimiento de la cohabitación con otros seres tangibles e intangibles que influyen en el sostenimiento de la vida.

Debido al reciente establecimiento de este sistema (menos de 3 años), no fue posible monitorear su impacto a largo plazo en el suelo, lo que sería importante evaluar en futuras

investigaciones, teniendo en cuenta que la distancia al hogar puede ser un factor determinante en su establecimiento y manejo adecuado. Los resultados en materia de carbono orgánico del suelo obtenidos del sistema MIAF en esta investigación, son, en mayor medida, la expresión del manejo histórico agroforestal previo de la parcela (*Pinus patula* en sistema taungya).

Tekochtli

Las rejoyas o *tekochtli*, de diversos usos agroforestales, han sido formadas por la solubilización de las rocas, el colapso de cuevas bajo tierra y la infiltración de agua que arrastra y acumula materiales en su base impermeabilizando el fondo. El tamaño del *tekochtli* depende de la solución lateral de las rocas que expanden su área, dándole su particular forma de cuenco, esta impermeabilización y acumulación de arcillas provenientes de la roca caliza, principalmente, adquiere una importancia cultural para la comunidad, pues constituye el origen de los bancos de barro comunitarios para la alfarería, así mismo son de importancia vital pues se asocian a manantiales de agua. En cuanto a la agricultura, si el *tekochtli* es muy impermeable se forman suelos con acumulación de arcillas lavadas, de coloración rojiza y amarilla que pueden inundarse una parte del año y presentar condiciones de óxido-reducción; dependiendo de su uso estos suelos pueden no presentar horizonte orgánico o si lo presentan suele ser muy delgado, a estas tierras se les denomina *tlalkostik* y *tlalchichiltik*. Por otro lado, si el fondo del *tekochtli* no es impermeable y hay buen drenaje de agua, las capas de material arrastrado de las laderas tienden a acumularse haciendo el suelo del lecho del *tekochtli* rico y profundo, a estas tierras se les denomina *tlaltliliwik* que se caracterizan por sus horizontes orgánicos mayores de 50cm que progresivamente dan lugar a los horizontes minerales. En esta unidad de paisaje se estudió un tipo de agricultura itinerante denominada “barbechos mejorados” o agrobosques, mezcla entre el manejo tradicional e innovador que incorpora especies útiles para el autoconsumo y para el mercado; y un monocultivo de *Pinus patula* para aprovechamiento forestal maderable.

Las rejoyas son unidades de paisaje versátiles pues presentan todas las condiciones topográficas y de pedregosidad que conforman microambientes y que, en el caso de los barbechos mejorados, son aprovechados de forma múltiple y diversificada. Gracias a su

morfología se trata de unidades con alta acumulación de carbono orgánico en el suelo como se detalla más adelante.

Tlalamanextli

La unidad de paisaje *tlamanextli* o planes, está conformada por lechos de poljes de gran tamaño y planicies creadas artificialmente a través de terraceos y tecorrales con pendientes menores al 5%, donde predominan los procesos de acumulación de materiales y formación de suelos.

En la sierra, aunque escasas, las planicies permiten adaptar tecnologías más intensivas y permanentes debido al bajo riesgo de erosión y a la cercanía de los hogares, lo que facilita el cuidado y atención continua de los agroecosistemas. Tradicionalmente, el manejo de las pendientes en muchas comunidades en el mundo, ha conllevado la formación de suelos antropogénicos a través de prácticas de manejo de la sedimentación, drenaje y erosión como son las terrazas, bancales y metepantles, dando lugar a suelos profundos que mejoran sus condiciones físico-químicas para la producción agroforestal (Galán-Reséndiz, 2018; Bocco-Verdinelli, 2022).

En Zacamilola se estudiaron dos sistemas agroforestales permanentes y concomitantes en esta unidad: un huerto de traspatio que presentaba muros de piedra o tecorrales para el manejo de la pendiente, donde se encontró un perfil de suelo profundo de cambio gradual entre horizontes y de textura franca-arenosa que se distinguió de los demás perfiles más arcillo-limosos, clasificado localmente como *tlaltlilwik* de textura *polvilla* y una milpa en rotación con cultivos de invierno, borregos y cabras en un lecho de un polje de gran tamaño que presentaba un suelo clasificado como *tlalkostik*, sin horizonte orgánico evidente y material parental de lutitas poco intemperizado a poca profundidad formado en el contexto de procesos de eluviación e iluviación asociados a la presencia de un manantial cercano.

Las planicies son las unidades donde se encontró menor contenido de carbono orgánico en el suelo debido a los usos más intensivos, la menor densidad de arbolado, la perturbación continua del suelo a través de la labranza, la continua extracción de residuos de cosecha y la rápida mineralización de la materia orgánica que ingresa a estos sistemas, como se detallará a continuación.

Suelos en Zacamilola y carbono orgánico del suelo

Basada en las observaciones de perfiles en campo, en la carta edafológica 1: 50 000 (INEGI, 2017) y pruebas diagnósticas realizadas en laboratorio, se presume que los suelos encontrados en Zacamilola son Acrisoles con horizontes de propiedades ándicas, horizontes árgicos, y en algunos casos de anegación temporal horizontes gleycos, pudiéndose denominar Andic Acrisol o Umbric Acrisol de acuerdo con la Clasificación Mundial de Suelos (WRB por sus siglas en inglés) (IUSS, 2022). Pese a su origen geológico kárstico, los suelos presentaron nula presencia de carbonatos y se diagnosticaron compuestos alofánicos en todos los horizontes superficiales muestreados y en casi todos los horizontes a profundidad, indicador de la influencia de las cenizas volcánicas en su formación. Algunas de las características diagnósticas para las propiedades ándicas que se encontraron en los suelos de Zacamilola, fueron los pH ácidos menores a 6, la melanización del horizonte superficial en la mayoría de los perfiles, excepto en la milpa, densidades aparentes que fluctuaron entre 0.4 y 0.8 g/cm³ y contenidos mayores al 10% de arcilla que aumentaron con la profundidad.

Para una clasificación científica del suelo más certera se sugiere en próximas investigaciones conocer el contenido de iones intercambiables, en especial Fe y Al, la retención de fosfatos, y los contenidos de vidrio volcánico. En algunos perfiles del suelo el contenido de arenas aumentó con la profundidad, sin embargo, una vez recuperadas en las determinaciones texturales en laboratorio, fue evidente que estas se trataban de arcillas, posiblemente provenientes de lutitas, altamente compactadas que fue imposible disgregar con los tratamientos aplicados. Este fenómeno es interesante ya que las arcillas fuertemente cementadas por factores externos como pueden ser altas temperaturas, pese a no ser arenas, se comportan como tales en los perfiles edáficos, mejorando la estructura y drenaje de los suelos donde se encontraron. Por el contrario, en el perfil edáfico del huerto de traspatio, las arenas sí estaban asociadas en mayor medida a partícula silíceas pudiendo clasificarse más cercanamente como Umbrisol.

En cuanto al carbono orgánico total de los suelos (COT) este presentó un rango considerado como muy alto (de 4 a 20%) propio de horizontes ándicos y úmbricos. Con base en los pH ácidos y la nula reactividad de las muestras de suelo al ácido clorhídrico, indicador de

carbonatos, se asume que el porcentaje de carbono total del suelo (%CT) está representado, casi en su totalidad, por carbono orgánico del suelo y que la fracción inorgánica no interfiere con las estimaciones realizadas (Kloster, Pérez y Bono, 2016), por lo que en esta investigación la concentración de CT fue tomada íntegramente como COT.

Para abordar el análisis del carbono orgánico del suelo en Zacamilola, no es posible ignorar la influencia que los relictos de carbón vegetal tuvieron en las determinaciones de laboratorio, encontrando en la mayoría de los perfiles de suelo desde micro a macro partículas a distinta profundidad como se describe en las tablas 6, 9, 15, 18 y 21; lo que demuestra la influencia de dos prácticas de manejo tradicional en las características de estos suelos y sus almacenes de C: la quema previa a la siembra y la elaboración de carbón vegetal, ambas ligadas a los modos de vida serranos y a las estrategias múltiples de gestión de la tierra. La presencia de carbón vegetal, producto de la pirólisis a través de un proceso térmico lento, en suelos de climas templados afecta positivamente las propiedades físico-químicas del suelo al mejorar su estructura, aumentar la porosidad, el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, el contenido de fósforo y calcio disponible para las plantas y aumentar la capacidad de intercambio catiónico (Borchard *et al.*, 2014; Kolb *et al.*, 2021 y Lasota *et al.*, 2021). La cantidad de nutrientes introducidos dependen significativamente de la composición de material de partida a partir del cual se formó el carbón, Mastrolonardo y colaboradores (2018) encontraron en bosques mediterráneos de encino (*Quercus* spp.), que los relictos históricos de carbón encontrados pese a sólo representar el 0.5% de la superficie total estudiada, representaban hasta un 4% del contenido total del almacén de C del ecosistema, además de representar una forma de C recalcitrante o de difícil degradación, por lo que de manera importante las adiciones históricas de carbón vegetal pueden aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo durante períodos prolongados sin afectar negativamente las interacciones ecológicas de las plantas a largo plazo (Borchard *et al.*, 2014) En este sentido, Lasota y colaboradores (2021) encontraron que los relictos de carbón vegetal en ecosistemas templados forestales de pino (*Pinus* spp.) propiciaron condiciones más favorables para el microbioma del suelo reflejadas en una más alta actividad enzimática y mayor diversidad de especies y géneros en comunidades bacterianas y fúngicas.

En Zacamilola el uso dendroenergético de especies de encino (*Quercus* spp.) data del siglo XIX (Protocolo Comunitario Biocultural de Zacamilola, 2019), por lo que estos suelos representan reservorios trascendentes de carbono orgánico que se han enriquecido por la adición antropogénica de carbón vegetal a lo largo de más de cien años y su conservación y mantenimiento representan un legado biocultural con repercusiones ecológicamente importantes.

Dinámica y almacenes de carbono

La dinámica del C en los agroecosistemas está ligada por distintos procesos e interacciones bioquímicas que se retroalimentan en el tiempo: 1) la extracción del CO₂ atmosférico por las plantas; 2) la fijación de carbono del CO₂ en la biomasa vegetal a través de la fotosíntesis; 3) la transferencia de carbono de la biomasa vegetal al suelo en forma de residuos orgánicos; 4) la descomposición progresiva de los residuos orgánicos en biopolímeros; 5) la movilización del carbono orgánico en la matriz del suelo a través de procesos físicos, químicos y biológicos como la adsorción, protección, desorción y actividad microbiana y 6) su mineralización, regresando parte del C a la atmósfera (Lehmann y Kleber, 2015). Esta investigación contribuye al entendimiento de una fracción de estos procesos y en un sólo evento de muestreo en el tiempo (noviembre del 2021) no representativa a todos los agroecosistemas, lo que representa limitaciones metodológicas para comprender más de cerca la dinámica del C en los SAF de Zacamilola y si estos representan una fuente neta de emisión o almacenes de C (PMC, 2015; FAO, 2020), sin embargo, es una aproximación y línea base de los factores socioecológicos y prácticas de manejo que impactan en los almacenes de C del suelo y el mantillo que influenciará a la dinámica en general.

En la tabla 23 se resumen comparativamente las principales prácticas de manejo realizadas en la actualidad por sistema agroforestal estudiado que varían en relación a la pendiente, intensidad de manejo y temporalidad, lo que puede dar luz a los siguientes resultados discutidos.

Almacén de carbono orgánico en el mantillo

En el *tlaixtli* o las pendientes se encontró que los sistemas investigados están más fuertemente asociados al mantenimiento y manejo de la cobertura forestal (*Quercus* spp., *Pinus* spp., *Alnus* spp.) pues se encontraron diferencias significativas en la masa de mantillo por unidad de área muestreada (peso seco) que en los estudiados en *tekochtli* y *tlalmanextli* (tabla 24). Esto sugiere que estos sistemas (agricultura itinerante y MIAF) presentaron mayores entradas de biomasa por superficie, lo que se refleja en el almacén de C, N y P en el mantillo (gráfico 7,8 y 9), los cuales fueron en promedio 17 veces mayores para C, 14 veces mayores para N y 7 veces mayores para P en *tlaixtli* que en los sistemas más intensivos de *tlamanextli* o planicies.

Los sistemas estudiados en *tlalmanextli*, se caracterizaron por presentar mantillo conformado principalmente por rastrojo, hojas de maíz y un poco de hojarasca de frutales en el huerto de traspatio, cuya masa por unidad de superficie fue muy baja, encontrando porciones considerables de suelo descubierto o con presencia de arvenses.

La unidad *tekochtli* presentó almacenes intermedios, siendo el agrobosque el sistema que menores almacenes presentó en esta unidad, esto se explica porque el mantillo se distribuía de manera no uniforme en el suelo, pero a diferencia de los sistemas en *tlalmanextli*, el suelo se encontraba cubierto por un cultivo de *estranguero* (*Oxalis tuberosa*).

En términos de calidad bioquímica, el mantillo presentó relaciones significativamente más altas de C:P y N:P en la agricultura itinerante y el sistema Taungya, mientras que cocientes menores en el huerto de traspatio y la milpa (tabla 25). Por otro lado, la relación C:N no presentó diferencias significativas entre sistemas agroforestales. Esto es importante de analizar si tenemos en cuenta que la velocidad de descomposición del mantillo en un agroecosistema depende de su calidad bioquímica y su acoplamiento con la calidad química de suelo y la capacidad metabólica de la comunidad microbiana (Chávez-Vergara *et al.*, 2014) por lo que a menor relación de los cocientes C:N, C:P, y N:P mayor biodegradación y mineralización, lo que hará disponibles los nutrientes en el suelo a la vez que parte del C regresará a la atmósfera en forma de CO₂.

Recapitulando, la calidad del mantillo de la milpa y el huerto de traspatio es mayor, comparada con la de los otros sistemas, a la vez que presenta tasas de mineralización más altas como puede apreciarse en el gráfico 10 para el huerto de traspatio, sin embargo, son los sistemas que presentaron menor cantidad de mantillo y por ende menores almacenes de nutrientes. Esto es debido a que su alta calidad lo hace factible de aprovechamiento para la alimentación animal y es casi íntegramente extraído del sistema, por otro lado, en estos sistemas más intensivos la cobertura forestal se limita a hileras en el huerto y a los linderos en la milpa, siendo menor la biomasa que recae en el sistema comparativamente con los demás. Es por ello y por su permanencia en el tiempo que estos sistemas requieren de entradas más consistentes de abonado y fertilización con materia orgánica fácilmente mineralizable como los estiércoles y compostas o de disolución inmediata como los fertilizantes de síntesis química para el mantenimiento de su productividad. Esto promueve la estabulación cercana del ganado mayor y menor para un fácil acceso y acarreo del estiércol, a la vez que se tiene a la mano la principal fuente de alimento animal.

En cambio, en sistemas secuenciales como la agricultura itinerante y el sistema Taungya la productividad del sistema depende de los ciclos de barbecho y de la recuperación natural de la fertilidad del suelo con la biomasa forestal. Es así que se promueve y se siembra, en sistemas mejorados como los agrobosques, especies de rápido crecimiento y conocidas tradicionalmente por su buena calidad de *samago* como los ilites (*Alnus* sp.) especie que ha sido ampliamente estudiada como mejoradora del suelo por su asociación micorrízica y actinorrízica con el género *Frankia* spp. fijadoras de N atmosférico (Molina, Medina y Orozco, 2006). Futuros estudios sobre la calidad de mantillo, manejo y efectos sobre el suelo de estas especies, podrían generar propuestas de mejora en los sistemas agroforestales de la zona alta de la sierra de Zongolica.

Almacén de carbono orgánico en el suelo

En cuanto a los almacenes de carbono orgánicos en el suelo (COS) en los primeros 30 cm de profundidad se obtuvieron diferencias significativas entre las unidades de paisaje (gráfico 11), siendo *tekochtli* por su particular morfología de cuenco, la que presentó mayores

almacenes de C, siguiéndole *tlaixtli* y por último *tlalmanextli*. Dentro de esta primera unidad, el agrobosque representó el sistema con mayores concentraciones de COS ($210.7 \text{ ton ha}^{-1}$), encontrando concentraciones 1.6 veces mayores que en MIAF ($124.3 \text{ ton ha}^{-1}$) y 3 veces mayores que en la milpa (65 ton ha^{-1}). Este sistema no se diferenció significativamente de otros sistemas como el sistema Taungya ($167.6 \text{ ton ha}^{-1}$), la agricultura itinerante ($166.1 \text{ ton ha}^{-1}$) y el huerto de traspatio ($153.1 \text{ ton ha}^{-1}$), también almacenando importantes cantidades de C en este primer horizonte.

Los estudios llevados a cabo en Acrisoles mexicanos, aunque escasos, han determinado que la abundante presencia de óxidos de Fe favorece la estabilización del carbono orgánico del suelo, formando complejos órgano-Fe muy estables a través de la interacción con la caolinita, los cuales incrementan su reactividad debido al bajo pH; y comparativamente con otros grupos de suelos presentan los valores más elevados de concentración y contenido de C en los primeros 10 cm de profundidad (Galicia *et al.*, 2016). Saynes-Santillán *et al.*, (2012) encontraron en Acrisoles húmicos de bosques templados mexicanos de pino-encino en Oaxaca un almacén de 116 ton ha^{-1} de 0 a 5 cm profundidad. Por otro lado, Borchard y colaboradores (2014) encontraron en bosques forestales templados sitios de elaboración histórica de carbón vegetal almacenes de 153 t ha^{-1} y 135 t ha^{-1} de 0 a 20 cm de profundidad en Cambisoles y Luvisoles, de los cuales 67 t ha^{-1} y 41 t ha^{-1} respectivamente eran producto de los relictos de carbón vegetal.

Mineralización en el suelo y fraccionamiento de materia orgánica

Las tasas de mineralización potencial en el suelo, contrariamente a lo estudiado en el mantillo, fueron mayores para la agricultura itinerante, el agrobosque, el sistema MIAF y el sistema Taungya y más bajas para la milpa y el huerto de traspatio (gráfico 12). Esto podría explicarse dados los bajos ingresos de biomasa y materiales orgánicos al suelo, a su rápida mineralización por la comunidad microbiana y a la alta demanda de nutrientes de los cultivos asociados a la milpa y al huerto de traspatio. Esto puede dar como resultado procesos de inmovilización y mineralización de C reducidos, en los que la comunidad microbiana utiliza

este C disponible para mantener su actividad metabólica básica. Para una mejor explicación sería de utilidad conocer la relación C:N, C:P y N:P en el suelo.

Un incremento en las tasas de mineralización supone una disminución de las reservas de COS por la actividad microbiana heterótrofa del suelo, lo que depende de la capacidad metabólica de las poblaciones microbianas, la calidad de los residuos orgánicos y sus mecanismos de protección ante la degradación que pueden modificarse por las prácticas de manejo de los agroecosistemas (Six *et al.*, 2002).

El grado de protección ante la degradación se estudió a través de los fraccionamientos de materia orgánica en el suelo (gráfico 13), los cuales son indicativos teóricos de protección diferencial del COT existente en este primer horizonte. La materia orgánica particulada libre y ocluida (MOPL y MOPO) presenta protección nula a baja respectivamente a la degradación aunque la calidad de nutrientes es menor; mientras que la materia orgánica asociada a minerales gruesa y fina (MOAMG Y MOAMF) de bajo peso molecular se encuentra adsorbida a las partículas del suelo y por ende presenta una protección alta que requiere mayor inversión en términos energéticos de la comunidad microbiana para acceder a ella, sin embargo, es más densa en nutrientes y requiere menor despolimerización previa a la asimilación de microorganismos y plantas (Lavalle, Soong y Cotrufo, 2020).

En Zacamilola se encontró que la milpa, el sistema que menor contenido de COT presentó, es el sistema en el que podemos encontrar alrededor del 50% de esa materia orgánica particulada y, en mayor medida libre, por lo que es más fácilmente mineralizable y por ende libera más C en forma de CO₂ a la atmósfera. De forma interesante y contrastante, el huerto de traspatio otro de los sistemas en *tlalmanextli* presentó más del 80% de COT asociado a minerales, lo que supone una mayor protección ante la degradación. Aunque ambos sistemas se caracterizan como concomitantes e intensivos, las prácticas de manejo del suelo difieren considerablemente. La milpa adapta un sistema de labranza con yunta donde el suelo es disgregado continuamente y se encuentra mayormente descubierto, mientras que el huerto presenta un barbecho manual, con hileras de árboles y plantas útiles dispuestas en terrazas formadas por tecorrales.

Por otro lado, los sistemas secuenciales con mayores contenidos de COT y almacenes de COS: el agrobosque, el sistema Taungya y la agricultura itinerante, presentaron más del 80% de este C protegido y asociado a minerales, lo que resguarda ante la degradación una parte considerable del almacén. De estos sistemas, el agrobosque y la agricultura itinerante distribuyeron alrededor del 20% del COT en la fracción particulada, lo que asegura su disponibilidad para microorganismos y plantas, aspecto fundamental para la fertilidad y productividad de los agroecosistemas.

Un equilibrio óptimo en la distribución de las fracciones, a través de prácticas de manejo adecuadas, puede asegurar la fertilidad y salud del suelo, ya que todas ellas presentan funciones clave a nivel ecosistémico, por un lado, alimentando el crecimiento microbiano y por lo tanto a toda la cadena alimenticia y por otro, proporcionando protección diferencial ante la mineralización y con ello protección ante la liberación de CO₂ (Lavalle, Soong y Cotrufo, 2020).

Estudios particulares del comportamiento de la MOP y MOAM en sistemas agroforestales tradicionales e indígenas en México podrían revelar el potencial de estos al diversificar e intensificar la producción con especies agrícolas, forestales y animales, a la vez que cumplen con objetivos de mitigación de C atmosférico y almacenamiento a largo plazo de C en su biomasa y en la interfase del suelo.

Prácticas de manejo y su impacto en el almacén de carbono orgánico del suelo

Más allá de que los SAF hayan sido documentados como los segundos con mayor capacidad de almacenamiento de C sobre y debajo del suelo, después de los bosques, sus prácticas de manejo juegan un papel importante en la protección física y bioquímica del C almacenado a través de la formación de complejos órgano minerales con las partículas finas del suelo (Dyhani, *et al.*, 2020).

En los sistemas agroforestales de Zacamilola se observaron prácticas de manejo que aumentan los almacenes de COS (Albrecht, *et al.*, 2003; Saha, *et al.*, 2009; Dyhani, *et al.*, 2020) tales como a) la adición de estiércoles y compostas en sistemas concomitantes e

intensivos como la milpa y el huerto de traspatio; b) el eficiente reciclaje de carbono a través de la rotación e integración de componentes agrosilvopastoriles en los sistemas secuenciales como la agricultura itinerante y los agrobosques; c) la promoción y tolerancia de especies valoradas por la calidad de *samago* o mantillo y su rápido crecimiento en barbechos de sistemas secuenciales; d) el aprecio por la diversidad de especies y la diversidad estructural en sistemas como los huertos de traspatio y agrobosques, y e) la adición de fragmentos de carbón vegetal a la interfase del suelo en los sistemas de elaboración artesanal de carbón.

En el caso de las prácticas que protegen el almacén de COS y disminuyen la liberación de CO₂ (Dyhani *et al.*, 2020; Muchaene *et al.*, 2020) se encontraron: a) la labranza disminuida en casi todos los sistemas, menos en la milpa; b) la construcción de terrazas y tecorrales para la disminución de la escorrentía y erosión, c) la permanencia de raíces y tocones que potencialmente pueden rebrotar y que mantienen la estructura del suelo en sistemas secuenciales; d) el mantenimiento de cercos y barreras vivas en las parcelas y e) el uso reducido de combustibles fósiles y sus derivados para la producción en todos los sistemas.

De manera generalizada en la mayoría de sistemas estudiados se aplican fertilizantes de síntesis química, sin embargo dadas las bajas dosis de aplicación y su frecuencia anual, los efectos negativos de su aplicación se ven reducidos. Es importante mencionar que en dosis elevadas y tiempo prolongado pueden ocasionar acidificación, desbalance nutrimental, reducción de la capacidad de intercambio catiónico, acumulación de sales, pérdida de materia orgánica y microorganismos benéficos del suelo (Bobul'ská *et al.*, 2015).

XI. Conclusión

El conocimiento de agricultoras y agricultores de Zacamilola en torno a la tierra o al suelo, es amplio y diverso y se ha desarrollado en función de las particularidades edáficas, geológicas y ecológicas a distintas escalas en el territorio habitado. Es un conocimiento profundo que emana de las relaciones históricas y cotidianas con la tierra y el sentir y pensar de la misma como ser viviente, con voluntad y sensibilidad para hacer florecer la vida y procurar su sustento.

Esta ontología relacional que abre la puerta a la dialogicidad con otros seres vivos y no humanos, materializa sistemas agroforestales diversos adaptados a las condiciones biofísicas particulares de cada parcela; lo que ha dado como resultado una compleja y dinámica matriz agroforestal que evoluciona con las necesidades básicas familiares y con los cambios sociales, económicos y políticos de la sierra. Las formas de ser, existir y cultivar serranas han dejado un legado intergeneracional de economías basadas en el carbono renovable a través del uso dendroenergético y del continuo ciclaje de carbono orgánico en los agroecosistemas para recolectar, producir, cocinar alimentos, calentar los hogares, construir casas, fabricar muebles, criar animales, producir bienes para la venta, etc. Dichas formas tradicionales han dejado huellas históricas que conforman parte del almacén actual de carbono orgánico en el suelo y que, hasta ahora, han protegido de la degradación suelos considerados como frágiles.

Ante cambios como la reducción de los terrenos de cultivo por la sucesiva división y herencia, la búsqueda de alternativas socioeconómicas, el impulso de tecnologías desde el exterior y las propuestas de las juventudes con formación universitaria, estas formas han sido abandonadas, reemplazadas, sincretizadas, revitalizadas e innovadas lo que se expresa en la diversidad de prácticas de manejo del suelo de los sistemas agroforestales en Zacamilola. El imperativo de cambio que conlleva la implementación de políticas públicas en materia agroforestal, aunque se basen en prácticas y sistemas ampliamente estudiados por la investigación científica agrícola y forestal, muchas veces resultan no estar adaptadas a los contextos socioecológicos de la sierra. En Zacamilola, la unidad de paisaje más susceptible ante el cambio tecnológico es *tlaixtli*, por sus condiciones de alta pendiente existe un mayor

riesgo de degradación de la tierra, en cambio, las zonas de menores pendientes o cercanas a los hogares pueden abrazar pequeños cambios tecnológicos y permitir su experimentación y adecuación por parte de las y los agricultores para adaptarlos con el paso de los años a zonas de mayor pendiente. Lamentablemente, los tiempos de proyectos y programas no responden al ritmo de la apropiación tecnológica campesina, ni están orientadas por el espíritu de coproducción de nuevos manejos.

En este sentido se proponen pautas clave para el manejo y conservación de los almacenes de carbono orgánico del suelo por unidad geomorfológica con base en los resultados obtenidos en campo y laboratorio:

Tlaxtli o pendientes

- Adaptar sistemas agroforestales secuenciales que promuevan y acrescenten el almacén de C orgánico de la biomasa, mantillo y suelo como la agricultura itinerante y los agrobosques.
- Mantener y aprovechar la diversidad de encinos, pinos y otras especies útiles propias del bosque de pino-encino.
- Auxiliar la sucesión vegetal durante los barbechos con especies de rápido crecimiento y alta calidad de mantillo o *samago* como los ilites (*Alnus* sp.).
- Reducir los manejos permanentes en esta unidad, especialmente en tierras *tlalkostik* y *tlalchchiltik*.
- Establecer agrobosques en usos permanentes de la tierra que se sustenten en prácticas de manejo tradicionales e innovaciones tecnológicas.

Tekochtli o rejoyas:

- Mantener la versatilidad de usos de acuerdo con los microambientes parcelarios.
- Planear la rotación de cultivos.
- Si se usa de forma continua y concomitante, adoptar curvas a nivel, terrazas o tectorrales en zonas de alta pendiente.
- Abonar con estiércoles maduros y compostas.

Tlalmanextli o planicies:

- Adaptar innovaciones de manejo, posibilidad de uso continuo y concomitante.
- Mantener el suelo cubierto, mantener el *samago*.
- Aumentar la cantidad de restos de cosecha que permanecen en el suelo.
- Abonar con compostas y estiércoles maduros.
- Mantener libre de agroquímicos planicies cercanas a manantiales y/o brotes de agua.

Estas claves pueden ayudar especialmente a juventudes y niñeces en la co-producción de mejoras de manejo de los sistemas agroforestales comunitarios, que en conjunto con la herencia intergeneracional y la innovación científico-técnica pueda generar la implementación de prácticas adecuadas al contexto socioecológico de Zacamilola y que promuevan la conservación de sus suelos, legado comunal invaluable y biocultural.

Los sistemas agroforestales tradicionales e indígenas de Zacamilola almacenan y protegen importantes cantidades de C debajo y sobre el suelo por lo que el mantenimiento de prácticas de manejo adecuadas al contexto ecológico, geológico, edáfico y sociocultural que aseguren su doble papel como almacén de C orgánico en su interfase y como fuente de nutrientes que sostiene a la comunidad microbiana y con ello la nutrición vegetal, es la base para el fortalecimiento de la autosuficiencia y seguridad alimentaria de la comunidad y la mitigación global al cambio climático.

Finalmente, si reconocemos la infinitud de la diversidad del mundo y la complementariedad de los distintos sistemas de conocimiento comprenderemos que las formas de vida serrana nos ofrecen un campo abierto de lecciones por aprender. El uso sustentable del suelo en ecosistemas serranos es una co-producción entre sociedad, cultura y natura de importantes contribuciones hacia las personas, que permite el mantenimiento de funciones ecosistémicas fundamentales para la vida. La comprensión de la tierra o el suelo como un sistema vivo, dinámico y altamente sensible que interactúa con todo lo que le rodea, permite entender que el bienestar humano depende de su salud, en este sentido las ontologías relacionales de los pueblos indígenas, sus valores y prácticas hacia la naturaleza son referentes de otros marcos epistémicos y ético-políticos para abordar la crisis medio ambiental.

XII. Fuentes citadas

Agüero-Rodríguez, J.C. y Tepetla-Montes, J. (2013, 30 de septiembre). El poder del agua en las Altas Montañas: conflictos ambientales y de distribución y apropiación. *La Jornada Ecológica*. <https://www.jornada.com.mx/2013/09/30/eco-cara.html>

Ahmed-Uddin, I. (2018) Forest Soil C: Stock and Stability under Global Change. En F. Dos Santos, H. Viana y F.A. García-Morote (Eds.), *New Perspectives in Forest Science*, 37-67. Intech Open.

Akomelafe, B. (2019). What climate collapse ask of us. The Emergence Network. Recuperada el 29 de octubre de 2021 de: [What Climate Collapse Asks of Us - The Emergence Network](#)

Akomelafe, B. (2020). Coming down to Earth: Sanctuary as spiritual companionship in a time of hopelessness and climate chaos. Recuperada el 29 de octubre de 2021 de [Coming Down to Earth • Writings – Bayo Akomelafe](#),

Alatorre-Frank, G., García-Campos, H., Hidalgo-Ledesma, R., López Binnqüist, C., Negreros-Castillo, P., Sánchez-Hernández, A.I., Silva-Rivera, E. (2011). *Visión diagnóstica de la gestión de las cuencas, los bosques y el agua en la Sierra de Zongolica*. México: Universidad Veracruzana Intercultural, Centro de Investigaciones Tropicales.

Albaladejo, J., Díaz-Pereira, E., de Vente, J. (2021). Eco-Holistic Soil Conservation to support Land Degradation Neutrality and the Sustainable Development Goals. *CATENA*, 196, 104823.

Albretch, A., Kandji, A.S. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 99, 15-27.

Altieri, M. (1997). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Valparaíso, Chile: Nordan-Comunidad.

Antonio-Acatzihua, L.M., Tlaxcala-Tlaxcala, B., Xocua-Antonio, M. (2010). *Participación y organización de actores sociales para el uso del agua y manejo de los*

manantiales de Zacamilola, Atlahuico, Veracruz. Colección Parcela Digital. Veracruz: Universidad Veracruzana Intercultural.

Argueta-Villamar, A., Corona, M., Hersh, P. (2011) *Saberes colectivos y diálogos de saberes en México*. Cuernavaca: UNAM, CRIM; Puebla: Universidad Iberoamericana.

Aryal, D.R., De Jong, H.J., Ochoa-Gaona, S., Esparza-Olguin, L., Mendoza-Vega, J. (2014). Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 195, 220-230.

Barad, K. M. (2007). *Meeting the universe halfway: Quantum physics and the entanglement of matter and meaning*. Durham, North Carolina: Duke University Press.

Barrera-Bassiksm N., Zink, J.A., Van Ranst, E. (2006). Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales, *Catena* 65, 118-137.

Barrera-Bassols, N., Floriani, N. (2018). *Saberes locales, paisajes y territorios rurales en América Latina*. Colombia: Universidad del Cauca.

Barrera-Bassols, N., Zinck, J.A. (2003). Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people, *Geoderma* 111, 171–195.

Barrios, E., Delve, R.J., Bekunda, M., Mowo, J., Agunda, J., Ramisch, J., Trejo M.T., Thomas R.J. (2006) Indicators of soil quality: A South–South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge, *Geoderma*, 135, 248–259.

Batani, C., Ventura, M., Tonon, G. (2021). Soil carbon stock in olive groves agroforestry systems under different management and soil characteristics, *Agroforest Syst* 95, 951–961.

Berkes, F., Colding, J., Folke, C. (2001) *Linking Social-Ecological systems*. Cambridge, U.K.; New York: Cambridge University Press

Bobul'ská L, Fazekaová D, Angelovicová L, Kotorová D (2015) Impact of ecological and conventional farming systems on chemical and biological soil quality indices in a cold mountain climate in Slovakia. *Biological Agriculture and Horticulture*, 31, 205-218.

Bocco, G., Winklerprins, A. (2015). General principles behind traditional environmental knowledge: the local dimension in land management, *The Geographical Journal*, 182(4), 375–383.

Boege-Schmidt, E., Álvarez-Santiago, H., Ortíz-Espejel, B., Rodríguez, M.T. (1991) *Cultura, naturaleza y sociedad en la sierra de Zongolica: una contribución para el aprovechamiento sostenido de los recursos naturales*. Instituto Nacional Indigenista. Xalapa, Veracruz, México.

Borchard, N., Ladd, B., Eschemann, S., Hegenberg, D., Môteler, B.M., Amelung, W. (2014) Black carbon and soil properties at historical charcoal production site in Germany. *Geoderma* 232-234, 236-242.

Borja Hernández, M., Limón Aguirre, F., Bá Tiul, M. A., Giraldo Palacio, O. F. (2020). Tzuultaq'a: defensa territorial y diferencia radical entre los mayas q'eqchi', *Alteridades*, 30 (60), 117-128.

Brand, U., M. Wissen (2012), Global environmental politics and the imperial mode of living: articulations of state—capital relations in the multiple crisis. *Globalizations*, 9 (4), 547-60.

Campbell, N., McHugh, G., Ennis, P. (2019). Climate Change is not a problem: Speculative Realism at the end of organization. *Organization Studies*, 40(5), 725–744.

Carneiro da Cunha, M. (2020). Antidomestication in the Amazon: Swidden and its Foes, En G. Lloyd y A. Vilaça (eds.), *Science in the forest, science in the past*, Hau Books, Chicago, 171-191.

Casas, A., Torres, I., Delgado-Lemus, A., Rangel-Landa, S., Ilsley, C., Farfán, B. (2017) Ciencia para la sustentabilidad: investigación, educación y procesos participativos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 113-128.

Chávez-Vergara, B., Merino, A., Vázquez-Marrufo, G., García-Oliva, F. (2014). Organic matter dynamics and microbial activity during decomposition of forest floor under two native neotropical oak species in a temperate deciduous forest in Mexico. *Geoderma* 235-236, 133-145.

CIBCEC (2003). Relieve y clima del municipio de Atlahuilco [página web]. Consultada el 29 de noviembre de 2021. Disponible en: [Relieve-Clima de la localidad ATLAHUILCO \(microrregiones.gob.mx\)](http://Relieve-Clima de la localidad ATLAHUILCO (microrregiones.gob.mx))

CONAFOR-UACH (2013). *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final*. Zapopan, Jalisco: Comisión Nacional Forestal.

Dalle, S.P., De Blois M. (2006) Shorter fallow cycles affect the availability of noncrop plant resources in a shifting cultivation system. *Ecology and Society*, 11(2), 2.

Dalle, S.P., Pulido, M., De Blois M. (2011). Balancing shifting cultivation and forest conservation: lessons from a “sustainable landscape” in southeastern Mexico. *Ecological Applications*, 21(5),1557–1572.

De la Cadena, M. (2020). Cosmopolítica indígena en los Andes: reflexiones conceptuales más allá de la «política», *Tabula Rasa*, 33, 273-311.

Delannoy, J. (1983). Le karst: un témoin des mutations socio-économiques dans la Sierra de Zongolica (Mexique). *Annales de la Société géologique de Belgique* 108, 77–83.

Delgadillo-Rámirez, M., Quechulpa-Montalvo, S. (2006). *Manual de Monitoreo de carbono en Sistemas agroforestales*. San Cristobal de las Casas, Chiapas: CONAFOR y AMBIO S.C de R.L.

Delgado, F., Rist, S. (2016). Las ciencias desde la perspectiva del Diálogo de Saberes, la transdisciplinariedad y el diálogo intercientífico. En F. Delgado y S. Rist (eds.) *Ciencia, Diálogo de Saberes y transdisciplinariedad. Aportes teóricos metodológicos para la sustentabilidad alimentaria y del desarrollo*. AGRUCO, Bolivia, 35-55.

Dhyani, S.K., Ram, A., Newaj, R., Handa, A.K., Dev, I. (2020) Agroforestry for Carbon Sequestration in Tropical India. En P.K. Gosh, S.K. Mahanta, D. Mandal, B. Mandal, S. Ramakrishnan (eds.) *Carbon Management in Tropical and Subtropical Terrestrial Systems*. Springer, Singapore, 313-331.

Dignac, MF., Derrien, D., Barré, P., Chenu, C. (2017). Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 14.

Dominati, E., Patterson, M., Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 9(69), 1858-1868

Ellis, E., Martínez, M. (2010). Vegetación y uso de suelo. In E. Florescano y J. Ortiz-Escamilla (Eds.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (pp. 203–226). Xalapa, Veracruz, México: Gobierno del Estado de Veracruz: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.

Escobar, A. (2013). En el trasfondo de nuestra cultura: la tradición racionalista y el problema del dualismo ontológico. *Tabula rasa*, 18 (1), 15-42.

Escobar, A. (2020). Transcending Modernity. Contribution to GTI Forum “Interrogating the Anthropocene: Truth and Fallacy”. Great Transition Initiative. Recuperada el 28 de octubre de: [Transcending Modernity | Arturo Escobar \(greattransition.org\)](https://www.greattransition.org/transcending-modernity-arturo-escobar)

Expósito-Verdejo, M. (2003). Diagnóstico Rural Participativo: una guía práctica. República Dominicana: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.

Fachin, P. A., Costa, Y. T., Thomaz, E. L. (2020). Evolution of the soil chemical properties in slash-and-burn agriculture along several years of fallow. *Science of The Total Environment*.

FAO (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma, Italia.

FAO (2014) Emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra [infografía]. Consultada el 4 de junio de 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/climatechange/micca/ghg/es/>

FAO (2015). *Understanding Mountain Soils. A contribution from mountain areas to the International Year of Soils 2015*. Roma, Italia.

FAO (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia.

FAO. (2019). *Climate-smart agriculture and the Sustainable Development Goals: Mapping interlinkages, synergies and trade-offs and guidelines for integrated implementation*. Roma, Italia.

FAO. (2020). *A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol*. Roma.

Galán-Resendiz, M. (2018). *Contribución al entendimiento del sistema agroforestal con metepantles en Tepetlaoxtoc, México* [tesis de doctorado] Departamento de suelos, Universidad Autónoma Chapingo.

Galicia, L., Gamboa-Cáceres, A. M., Cram, S., Chávez-Vergara, B., Peña-Ramírez, V., Saynes, V., Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 1-29.

Gavin, M.C., McCarter, J., Mead, A., Berkes, F., Stepp, J. R., Peterson, D., Tang, R. (2015). Defining biocultural approaches to conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(3), 140–145.

Geilfus, F. (2002). 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. San José, C.R.: IICA.

Geissert-Kientz, D. (1999). Regionalización geomorfológica del estado de Veracruz. *Investigaciones Geográficas* 40, 23-47.

Giraldo, O., Toro, I. (2020). *Afectividad ambiental: Sensibilidad, empatía, estéticas del habitar*. Chetumal, Qunitana Roo, México: ECOSUR y Universidad Veracruzana.

Gliessman, S.R. (1998) *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. CATIE, Costa Rica: Sleeping Bear Press.

Gliessman, S.R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica: CATIE.

Gómez-Pompa, A., Vázquez-Yanes, C., Guevara, S. (1972). The Tropical Rain Forest: A Nonrenewable Resource. *Science, New Series*, 177 (4051), 762-765.

González-Medrano, F. (2004). *Las comunidades vegetales de México: propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México.

Gras, E. (2012). *Cosecha de agua y tierra. Diseño con Permacultura y línea clave*. México: EcoHabitar.

Gudynas, E. (2009). *El mandato ecológico. Derechos de la Naturaleza y políticas ambientales en la nueva Constitución*, Quito: AbyaYala.

Gudynas, E. (2014). El postdesarrollo como crítica y el Buen Vivir como alternativa. En G. C. Delgado Ramos (Ed.), *Buena vida, buen vivir: Imaginarios alternativos para el bien común de la humanidad*. UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, pp. 61-96.

Hellin, J. (2006). *Better land husbandry: From soil conservation to holistic land management*. Jersey, Enfield, UK: Science Publishers.

Hidalgo-Ledesma, R. (2016) *El campesinado Zongoliqueño en la disputa territorial. Saberes territoriales y manejo campesino del monte* [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma Metropolitana].

Hill, R., Adem, C., Alangui, W., Molnar, Zsolt, Aumeeruddy, R., Bridgewater, P., Tengö, M., Thaman, R., Adou Yao, C., Berkes, F., Carino, J., Diaw, M., Díaz, S., Ichikawa, K., Karki, M, Malmer, P., Pacheco, D., Pérez, E., Saito, O., Xue, D. (2020). Working with indigenous, local and scientific knowledge in assessments of nature and nature's linkages with people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 43, 8-20.

INEGI (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave*, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2017). Mapa digital de México. Consultada el 26 de junio de 2021. Disponible en [Mapa digital \(inegi.org.mx\)](http://inegi.org.mx)

Ingram, J., Fernandes E. (2001). Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 87, 111-117.

IPBES (2019). *Resumen para los encargados de la formulación de política de la evaluación mundial sobre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas*. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, C. N. Zayas (eds.). Bonn, Alemania: IPBES secretariat.

IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences.

Janzen, D. H. (1970). Herbivores and number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist*, 4, 501-528.

Kane, D. (2015). *Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices*, Washington, D.C.: National Sustainable Agriculture Coalition

Kenneth-Tafira, C. y Ndlovu-Gatsheni, S. (2017). Beyond coloniality of markets - exploring the neglected dimensions of the land question from endogenous African decolonial epistemological perspectives, *People and Nature*. London, 2(2), 328-338.

Kloster, N., Pérez, M., Bono, A. (2016). Análisis del carbono total, orgánico e inorgánico en suelos de la región semiárida pampeana Argentina. *Ciencia del suelo*, 34 (2), 365-372.

Kolb, S.E., Fermanich, K.J., Dornbush, M.E. (2009) Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Science Society American Journal*, 73, 1173–1181.

Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S. y Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The Soils of Mexico*. World Soils Book series. New York, USA: Springer

Lasota, J., Blonska E., Babiak, T., Piaszczyk, W., Stepniewska, H., Jankowiak, R., Boron, P., Lenart-Boron, A. (2021) Effect of charcoal on the properties, enzyme activities and microbial diversity of temperate pine forest soils. *Forests*, 12, 1488.

Lal, R. (2014). Soil Carbon Management and Climate Change. *Carbon Management*, 4, 439-462.

Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212-222.

Lal, R. (2015) The soil–peace nexus: our common future. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(4), 566-578.

Lehmann, J., Kleber, M. (2015) The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528, 60–68

Leno, N. (2020). *Soil Carbon Sequestration: Basis & Basics*. United Kindom: Book Publisher International. 42p.

Licona-Vargas, A. L., Ortíz-Solorio, C.A., Gutiérrez-Castorena, M.C., Manzo-Ramos, F. (2006). Clasificación local de tierras y tecnología de policultivo café-plátano para velillo-sombra en comunidades cafetaleras. *Terra Latinoamericana*, 24 (1), 1-7.

López-Austin, A. (2004). *Cuerpo humano e ideología: La concepción de los antiguos nahuas*. México: IIA-UNAM.

López-Binnqüist, C., Gerez-Fernández, P., Vega-Ortega, M.A., Martínez-Barrientos, C., Roberto-Cerdán, C. (2020). Manejo de sistemas agroforestales con dendroenergía en la sierra de Zongolica, Veracruz. En A.I. Moreno-Calles, M.L Soto-Pinto, M.M. Cariño-Olvera, J.M. Palma-García, S. Moctezuma-Pérez, J.J. Rosales-Adame, P.I. Montañez-Escalante, V. de J. Sosa-Fernández, M. del R. Ruenes-Morales., W. López Martínez (Eds.), *Los sistemas*

agroforestales de México: Avances, experiencias, acciones y temas emergentes. México: Red Temática de Sistemas Agroforestales de México, CONACYT.

López-Binnqüist, C., Hidalgo-Ledesma, R., Panzo-Panzo F. (2017). 'Keeping our Milpa': Maize Production and Management of Trees by Nahuas of the Sierra de Zongolica, Mexico. En P. Sillitoe. (Ed.), *Indigenous Knowledge. Enhancing its Contribution to Natural Resources Management* (pp. 40-50). Oxfordshire, UK: CAB International.

Martínez-Barrientos, C. (2017). *Sistemas agroforestales productores de carbón vegetal en tres municipios de la sierra de Zongolica, Ver.* [Tesis de licenciatura]. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana.

Martínez-Canales, L. (2012). Cultura y economía para la sobrevivencia: Procesos y relatos desde el etnoterritorio nahua de Tehuipango, en la Sierra de Zongolica, Veracruz. *Anales de Antropología*, 47 (1), 73-108.

Martínez-Ramos, M., García-Orth, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (80),69-84.

Mastrolonardo, G., Francioso, O. y Certini, G. (2018). Relic charcoal hearth soils: A neglected carbon reservoir. Case study at Marsiliana forest, Central Italy. *Geoderma*, 315, 88–95.

Martins Lopes, V., Girão, O. (2020) A dinâmica geomorfológica sob a ótica do pescador artesanal: etnogeomorfologia costeira e estuarina do litoral norte de pernambuco, *Estudos Geográficos* 18 (1), 1-25.

Mavisoy- Muchavisoy, W.J., (2018). El conocimiento ivendígena para descolonizar el territorio. La experiencia Kamëntšá. *Nómadas*, 48.

McGinnis, M. D., Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2).

Merçon, J., Vetter, S., Tengö, M., Cocks, M., Balvanera, P., Rosell, J.A., Ayala-Orozco, B. (2019). From local landscapes to international policy: contributions of the biocultural paradigm to global sustainability. *Global Sustainability*, 2, 1–11.

Morales-Vázquez, E.A. (2018). Una aproximación ecológica al estanco de tabaco en la Sierra de Zongolica, Veracruz, 1767-1812. *Interconectando saberes: Revista de divulgación del Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores Económicos y Sociales*. Universidad Veracruzana, 6(3),69-89.

Moreno-Calles, A.I., Casas, A., Rivero-Romero, A.D., Romero-Bautista, Y.A., Rangel-Landa, S., Fisher-Ortíz, R.A., Alvarado-Ramos, F., Vallejo-Ramos, M. y Santos-Fita, D. (2016) Etnoagroforestería: Integración de la diversidad biocultural y soberanía alimentaria en México. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12 (54), 2-21.

Moreno-Calles, A.I., Toledo, V.M., Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91 (4), 375-398.

Muchane, M. N., Sileshi, G.W., Gripenberg, S., Jonsson, M., Pumariño, L., Barrios, E. (2020). Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 295.

Naess, A. (2007). *The selected works of Arne Naess*. Cham: Springer.

Nair, P.K.R. (1985) Classification of Agroforestry Systems. *Agroforestry Systems*, 3, 97-128.

Nair-Ramachandran, P.K., Kumar, M., Nair, V.D. (2009). Agroforestry as strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172,10-23.

Nicholls, C.I., Altieri, M., Vázquez L.L. (2015). Agroecología: Principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología* 10(1):61-72.

Nottingham, A., Meir, P., Velasquez, E., Turner, B. (2020). Soil carbon loss by experimental warming in a tropical forest. *Nature*. 584, 234-237.

Núñez-Rodríguez, V. (2004). *Por la tierra en Chiapas... el corazón no se vence: Historia de la lucha de una comunidad maya-tojolabal para recuperar su nantik lu'um, su Madre Tierra*. México: Editorial Plaza y Valdés.

OMPI. (2010). Lista y breve descripción técnica de las diversas formas que pueden presentar los conocimientos tradicionales. Recuperada el 1 de diciembre de 2020 en: https://www.wipo.int/edocs/mdocs/sct/es/wipo_grtkf_ic_17/wipo_grtkf_ic_17_inf_9.pdf

Organización Internacional del Trabajo (2019). Indigenous Peoples and Climate Change: Emerging Research on Traditional Knowledge and Livelihoods. Suiza: OIT.

Ortiz-Solorio, C. A., Gutiérrez-Castorena, C. (2001) La Etnoedafología en México una visión retrospectiva. *Etnobiología*, 1, 44-62.

Ospina, A. (2004). Clasificación y caracterización de sistema agroforestales. En F. Delgado-Burgoa, E. Serrano y J. Bilbao-Paz (Eds.), *Agroforestería Latinoamericana. Experiencias locales. Memoria del taller regional de intercambio de experiencias: "Tecnologías locales en agroforestería"*. Colombia: Movimiento agroecológico para Latinoamérica y el caribe (MAELA)

Oudwater N., A. Martin. (2003). Methods and issues in exploring local knowledge of soils. *Geoderma*, 111, 387–401

Paustian, K., Collier, S., Baldock, J., Burgess, R., Creque, J., DeLonge M., ... Jahn, M. (2019). Quantifying carbon for agricultural soil management: from the current status toward a global soil information system. *Carbon Management*, 1–21.

Paytona, R.W., Barr, J.F., Martin, A., Sillitoe, P., Deckers, J.F., Gowing, J.W., Hatibu, N., Naseem, S.B., Tenywa, M., Zuberi, M.I. (2003). Contrasting approaches to integrating indigenous knowledge about soils and scientific soil survey in East Africa and Bangladesh. *Geoderma*, 111, 355–386

Paz-Pellat, F., Ortiz-Solorio, C.A. (2019) Base de datos de la evaluación de la degradación de los suelos en México. *Elementos para Políticas Públicas*, 3(1), 51-56.

Pereyra-Díaz, D., Pérez-Sesma, A.A., Salas-Ortega, M.R. (2010). Hidrología. En E. Florescano y J. Ortiz-Escamilla (Eds.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* (pp. 85-122). Universidad Veracruzana y Gobierno del Estado de Veracruz.

Programa Mexicano del Carbono, A.C. (2015). *Manual de Procedimientos Inventario de Carbono+*. Estudio de Factibilidad Técnica para el Pago de Bonos de Carbono en el Estado de México (RETUS con BASES EDOMEX). Texcoco, Estado de México: PMC.

Pulido-Secundino, J., Bocco-Verdinelli, G. (2016). Conocimiento tradicional del paisaje en una comunidad indígena: caso de estudio en la región purépecha, occidente de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 89, 41-57.

Reytar, K., Peter. (2016). "Indigenous Peoples and Local Communities are the World's Secret Weapon in Curbing Climate Change". World Resources Institute. En <http://www.wri.org/blog/2016/11/indigenous-peoples-and-local-communities-are-worlds-secretweapon-curbing-climate> Consultado 6 de noviembre de 2020

Roba, H. G., Oba, G. (2009). Community participatory landscape classification and biodiversity assessment and monitoring of grazing lands in northern Kenya. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 673-682.

Rodríguez-GLI, M.T. (2003). *Ritual identidad y procesos étnicos entre los nahuas de la Sierra de Zongolica, Veracruz*. México: CIESAS.

Rojas-Rabiela, T. (1991). *La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes y Editorial Grijalbo.

Rossette, P., Altieri, M. (2018). *Agroecología: Ciencia y política*. Riobamba, Ecuador: Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología.

Sanchez, P.A. (2019). *Properties and management of soils in the tropics*. Reino Unido: Cambridge University Press.

Santos, B. (2014). Más allá del pensamiento abismal: de las líneas globales a una ecología de saberes. En: Santos, B. y Meneses, M. P. (eds). *Epistemologías del Sur (Perspectivas)*. Madrid: AKAL, pp. 21-66.

Scharlemann J.P.W., Tanner E.V.J., Hiederer R., Kapos V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool, *Carbon Management*, 5(1), 81-91.

Semarnat (2013). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Semarnat-CP (2003). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Shajaat-Ali A.M., (2003) Farmers' knowledge of soils and the sustainability of agriculture in a saline water ecosystem in Southwestern Bangladesh. *Geoderma* 111:333 – 353

Shiva, V. (2008). *Soil not oil: Environmental justice in an age of climate crisis*. Cambridge, U.K.: South End Press.

Shukla, G., Koul, D., Chakravarty, S. (2012). Carbon sequestration vis-a-vis Soil management. *Environment and Development*, 7, 107-122.

Sierra-Huelsz, J.A., Gerez-Fernández, P., López-Binnqüist, C., Guibrunet, L., Ellis, E. A. (2020). Traditional Ecological Knowledge in Community Forest Management: Evolution and Limitations in Mexican Forest Law, Policy and Practice. *Forests*, 11, 403.

Sillitoe, P. (2017). *Indigenous knowledge: enhancing its contribution to natural resources management*. Oxfordshire, United Kingdom: CAB International.

Singh, B. P., Setia, R., Wiesmeier, M., Kunhikrishnan, A. (2018). Agricultural Management Practices and Soil Organic Carbon Storage. *Soil Carbon Storage*, 207–244.

Spinoza, B. (2011). *Ética*. Madrid: Alianza.

Sutter, P.S. (2014). The Tropics: A brief history of an environmental imaginary. En A.C. Isenberg (ed.). *The Oxford Handbook of Environmental history* (pp. 178-206). Nueva York, Estados Unidos: Oxford Press.

Targulian, V.O., Arnold, R.W., Bradley, A.M., Brevik, E.C. (2019) Pedosphere. *Encyclopedia of Ecology* (4), 162-168.

Tebtebba Foundation. (2012). *Knowledge, Innovation and Resilience: Indigenous Peoples' Climate Change Adaptation and Mitigation Measures*. Baguio City, Philippines: Tebtebba Foundation.

Tengö, M., Brondizio E.S., Elmqvist T., Malmer, P., Spierenburg, M. (2014) Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance: The Multiple Evidence Based Approach. *AMBIO*. 43, 579–591

Tengö, M., Hill, R., Malmer, P., Raymond, C.M., Spierenburg, M., Danielsen, F., Elmqvist, T. y Folke, C. (2017). Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond—Lessons learned for sustainability. *Current Opinion Environmental Sustainability*, 26, 17–25.

Tezoco-Zepahua, M.C., Tlaxcala-Tlaxcala, P. (2011). *Conocimiento local y alternativas de manejo sustentable en agroecosistemas campesinos a nivel familiar en los municipios de Tequila y Atlahuico, Veracruz* [Tesis de licenciatura]. Universidad Veracruzana Intercultural.

Tlaxcala-Juárez, A.G. (2014). *Promoción de una alimentación familiar, sustentable e intercultural en la comunidad de Zacamilola, Atlahuilco, Veracruz* [tesis de licenciatura]. Universidad Veracruzana Intercultural. Sede Grandes Montañas

Tricart, J. (1972). *La Tierra, planeta viviente*. Barcelona, España: Akal.

Weil, N., Brady, RC. (2017). *The nature and properties of soils*. Londres: Pearson.

UICN. (2020). Moción 034: Cambio climático y crisis de la biodiversidad. Promover soluciones integradas a las crisis del cambio climático y la biodiversidad. *Congreso Mundial de la Naturaleza Marsella 2020*. Recuperada el 1 de diciembre de 2020 en: <https://www.iucncongress2020.org/es/motion/034>

Van Sleen, L.A., 1996. *Introduction to geomorphology and geology*. Enschede, The Netherlands: ITC.

Varela, F., Tompson, E. y Rosch, E. (1991). *The embodied mind. Cognitive science and human experience*. Cambridge: MIT Press.

Vega-Ortega, M.Á. (2021). *Características ecológicas y genéticas de poblaciones de Quercus spp., bajo manejo agroforestal para producción de carbón vegetal en la sierra de Zongolica* [tesis de doctorado]. Universidad Veracruzana. Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada.

Vega-Ortega, M.Á., Llanderal-Mendoza, J., Gerez-Fernández, P., López Binnqüist, C. (2021). Genetic diversity in oak populations under intensive management for fuelwood in the Sierra de Zongolica, Mexico. *Annals of Applied Biology*, 178: 80– 97.

Wander M.M., L.J. Cihacek, M. Coyne, R.A. Drijber, J.M. Grossman, J.L.M. Gutknecht, W.R. Horwath, S. J., Olk, D.C., Ruark, M., Snapp, S.S., Tiemann, L.K., Weil, R., Turco, R.F. (2019). Developments in agricultural soil quality and health: Reflections by the Research Committee on Soil Organic Matter Management, *Frontiers in Environment Science* 7, 109.

Wani S.A., Khanday M., Bashir, Z., Kousar, S., Rasooland, F. y Zargar, Y. (2017) Carbon Sequestration Potential of Soils - A Review. *Advances in Life Sciences* 5(21).

Warner, K. (1991). *Shifting cultivators: Local technical knowledge and natural resource management in the humid tropics*, FAO.

Wiesmeier M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützwow, M., Marin-Spiotta, E., Kögel-Knabner, I., (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333,149-162.

Wilkinson, K., Elevitch, C. (1999). Improved fallow. Recuperada el 10 de junio de 2021 en: [Agroforestry.org - Overstory #42 - Improved Fallow](https://agroforestry.org/overstory/42/improved-fallow)

Woomer, P.L., Palm, C.A., Alegre, J., Castilla, C., Cordeiro, D.G., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Moukam, A., Riese, A., Rodrigues, V., van Noordwijk, M. (2000) Slash and burn effects on carbon stocks in the humid tropics. In R. Lal, J.M Kimble y B. A. Stewart. *Global Climate Change and tropical ecosystems*. CRS Press. Florida.

Zinck, A. J., S. Cram. (2010). Los suelos de Latinoamérica: retos y oportunidades de uso y estudio. *Boletín del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica*. 2(3), 95-142.

Zusman, P. (2002). Milton Santos. Su legado teórico y existencial (1926-2001). *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 40, 205-219.

Anexo I. Tabla de corrección de distancias por pendiente (%). Los datos en las columnas están en metros de distancia sobre el terreno. Estos valores corresponden al radio (distancia del centro hacia los extremos) de parcelas circulares de 500m². Fuente: AMBIO y CONAFOR (2006).

Pendiente %	Círculo de 100m²	Pendiente %	Círculo de 100m²
0	5.64	70	6.89
2	5.64	72	6.95
4	5.65	74	7.02
6	5.65	76	7.09
8	5.66	78	7.16
10	5.67	80	7.23
12	5.68		
14	5.70		
16	5.71		
18	5.73		
20	5.75		
22	5.78		
24	5.80		
26	5.83		
28	5.86		
30	5.89		
32	5.92		
34	5.96		
36	6.00		
38	6.04		
40	6.08		
42	6.12		
44	6.16		
46	6.21		
48	6.26		
50	6.31		
52	6.36		
54	6.41		
56	6.47		
58	6.52		
60	6.58		
62	6.64		
64	6.70		
66	6.76		
68	6.82		

Anexo 2. Fragmento traducido del *nawatl* al español de un *xochitlallis*. Realizado por Guadalupe Tlaxcala Bibiano. Traducción al español por María Florencia Tehuintle Cuicahua.

Ave María purísima aquí en la presencia del Padre celestial y la Virgen vengo ante su presencia madre tierra en este día y a esta hora casi a las 3:00 de la tarde. Le hablo a usted madre tierra, a nuestro Dios Jesucristo creador, aquí venimos a saludarlos, traemos estas sagradas siete semillas por nuestros siete sagrados días de trabajo, traemos calabaza y frijol, vea usted madre tierra sagrada, venimos ante usted y a su presencia en *weyi komolkotekatl*, esta grande barranca. Estoy frente a ti, tú que eres mi padre y mi madre, en este día 26 del mes de marzo le hablo a usted con un sahumerio de bienvenida para que venga usted, con esto le venimos pidiendo permiso para que aquí en su frente pongamos estas siete semillas de frijol y papa.

Vea usted madre y padre tierra *tlalokan nana* y *tlalokan tata*, y ante Dios y el patrón San José y la virgen María, hablaron con usted y le dijeron del porqué vamos a sembrar aquí, y nuestro señor patrón San Isidro Labrador quién le hablo también con unas flores, le traigo dos ceritas y 4 ramitos de flores, un trago a usted madre tierra venga y sea bienvenida para que se contente su corazón y que esté feliz su espíritu. Le traigo una santísima santa cruz, una flor, un trago de cerveza, a usted quién nos dará y nos regalará a todos los que estamos aquí en este mundo, a usted le pido y le hablo.

Ave María purísima, ya tiraron su traje, trozaron los árboles, cortaron la hierba y juntaron la leña, que es como cortarle su pie o su mano y la rasparon para sembrar, pero no se entristezca, que no le duela su corazón, hoy le traigo una luz y estas siete sagradas semillas de frijol y calabaza, usted que les va a dar a los hijos del patrón Dios San José los alimentos, pues todos nosotros tenemos hambre y sed, a todos anhelamos una santa comida, aquí ante usted me hincó y le pido que nos perdone por favor por todo, aquí estamos unos dos o tres ante usted, perdone a los que cortaron su mano o su pie para no padecer hambre, que no le duela su corazón, no se preocupe madre tierra, venga usted a recibir esta luz y una copa que le doy.

Ave María purísima, *tlalokan nana* madre tierra y *tlalokan tata* padre tierra sean bienvenidos y tomen un trago de aguardiente que les traigo y con esto le vengo pidiendo para que nos de permiso para sembrar estas santas semillas, que guíen nuestros pasos y nuestras manos donde

sea que vayamos o caminemos. A usted madre tierra le hablo y le pido que venga y que agradezca este sahumerio con humo, con esto venimos pidiendo su permiso y con esta agua que le damos. Ave María purísima, ya la pisamos y pasamos pero venga usted reciba usted todo lo que está bendito por el patrón Dios San Miguel Arcángel, con todo esto le pedimos y le rogamos que reciba usted y que disfrute este alcohol Ave María purísima y estas flores, Ave María purísima usted madre tierra pero vea usted esta luz y estas flores que le traigo en esta hora y este día, en este tiempo ya llegó la hora y día para poner o sembrar frijol y calabazas y todo lo que usted nos da, pero lo que hoy le pido y vine ante usted para que venga y reciba este humo, dos ceras y cuatro ramitos de flor sean bienvenidos y vengan ustedes.

A usted nuestro señor Jesucristo Dios y usted patrón Dios San Isidro Labrador usted le dijo porque aquí vamos a sembrar que es lo que aquí vamos hacer o sembrar para con ello comer usted madre tierra aquí lo llamo y le hablo con un poco de sahumerio con humo y con alcohol venga usted y reciba con gusto toda esta ofrenda aquí un trago le traigo y con esto le pido y la llamo, usted nuestra madre tierra usted nos da todo y nos regala, estamos en este mundo todos tus hijos bautizados y bendecidos en este mundo y sagrada tierra, usted *tlalokan nana* y *tlalokan tata* con toda la verdad le voy a pedir a Dios donde puso las santas lomas, cuantos mares y cuántas lagunas y lagos a todos ellos los llamo y les voy hablar.

A usted nuestro Dios, nuestro patrón San Miguel Arcángel, usted sabe cuántos rayos *tlapetlanihkeh* y truenos *tlakomonihkeh* hay y los que envían el sereno *ahwachtzetzelohkeh* aquí le hablo a todos en conjunto, vengan ustedes por favor y reciban con gusto un sahumerio con humo; usted mi madre y mi padre y nuestra sagrada mar y usted santa madre y padre *tlahkuiloltekatl* sagrados y sabios, ustedes ahí tienen a los que ordenan y saben cuántos truenos *tlakomonihkeh*, dioses que esparcen el sereno *ahwachtzetzelotzitzinti* y cuantos a los que envían los relámpagos *tlapetlanihtzitzintih* ahí ustedes tienen como guardianes.

En este día les hablo a ustedes *tlalokan nana* y *tlalokan tata*, a los diez montes *kiaftekatl* y a la sagrada Malinche *istakmalintzintekatl*, señora blanca del pico de Orizaba *ixtaktepetekatl* y a usted quién envía los truenos *wewehtekatl*, a los dioses y guardianes de los relámpagos *tlapetlanitzitzintih* y *tlakomoltzitzinti*, a ustedes santa *lagunatekatl* y al arcoíris *koselotzintekatl*, a ustedes quienes envían el tiempo y la hora, ustedes mandaran el agua para esta santa siembra para que retoñen las semillas; usted santa laguna, santa loma arcoíris

koselotzintekatl a todos ustedes les pido que vengan y los menciono ante la presencia de nuestra madre tierra. A ustedes padres dueños del monte *sakatepetekatl* e *ichkaltotekatl* cerros ustedes que son nuestros queridos padres son observadores, también *ixtolapantekatl* y *kakalotekatl* ustedes resguardan a los comunicadores de los truenos *tlakomoltzitzinti*, relámpagos *tlapetlanitzitzintih* y quienes envían el aguanieve *ahwachtzetzelotzitzinti*, todos juntos vengan y reciban esta ofrenda y convivan con la madre tierra. Aquí hice y puse una santa cruz y en su presencia los invito y le hablo a todos ustedes padres, al cerro *tzonkolkotekatl* y a ustedes sagradas lomas *tepexakualkotekatl* y los dueños y guardianes *tlatzkayotekatl* de los árboles ustedes que son como nuestros padres en este día les hablo y mando a llamar y a usted Jesucristo Dios le diste este trabajo a San Miguel Arcángel y dejaste todo puesto en este mundo, ahí están los santos manantiales santa *amanaltih* y lagos y lagunas, el agua querida *atzintli* ahí esta y de ahí enviaran los truenos *tlakomoltzitzinti* y relámpagos *tlapetlanitzitzintih* a ustedes padres donde surgen los truenos y dueño de todos los montes *koyoapantekatl* y *okotlajapantekatl* y a ustedes *tlalokan nana* y *tlalokan tata* que dan paso al agua *weyiapantekatl* y al dueño de las lagunas *xokotewiapantekatl* ahí donde están las aguas sagradas aquí en este momento lo llamo y le ruego a que venga ya sea hoy, mañana o pasado mañana para que venga la lluvia a usted santo patrono Dios San Miguel Arcángel, usted que ordena todo y sabe cuántos truenos *tlakomoltzitzinti* y relámpagos *tlapetlanitzitzintih* ahí hay y tienen a usted madre y padre tierra guardianes de la lagunas *xokotewiapantekatl* y padre y madre dueños *weyiakantekatl* de los lagos, y padre y madre de los arroyos *tenayoakantekatl* y cañales *akatlantekatl*, a ustedes en este día ya les hable y los invite a ustedes van hacer crecer todo lo que aquí se va a sembrar y harán crecer las semillas frijol y calabazas. Porque gracias a nuestra madre tierra encontramos que comer y beber, Jesucristo Dios venga usted, y así como usted nos enseñó hacer la oración: En el nombre del padre y del hijo y del Espíritu Santo, Ave María purísima, en el nombre sea de Dios y con su santa bendición que se haga lo que aquí venimos a poner esta santa semilla que ustedes van hacer que crezca y le darán la fuerza para crecer en esta santa tierra. Papá Dios y madrecita tierra *tlalokan tinotahtzin wan tlalokan tinomamantzin* aquí le damos un sahumero y una flor vengan; y a usted santísima santa semilla en el nombre del padre del hijo y Espíritu Santo y a usted que Dios Jesucristo te bendiga en esta santa tierra para que ahí usted va hacer crecer, Ave María purísima madre tierra usted ayúdenos y danos tu santa bendición y a todos los que

estamos aquí escuchando tu palabra, yo ya le hable y le dije que es lo que aquí sembramos es que lo que aquí pusimos en su rostro no se preocupe o que le duela el corazón debido a que tiramos tu piel venga usted madre tierra Ave María purísima, usted madre tierra en el nombre del padre del hijo y del Espíritu Santo, Jesucristo Dios santo usted también míreme a mí y escuche por mis ruegos, usted perdóneme.

(Momento de ofrendar) Ahora si apoyenme para poner estas ceras, ayúdenme aquí lo van a poner aquí uno, aquí otro y aquí para tres y seis hoyos y otro un poquito más.

23:18 Ave María purísima, madre tierra ya hablé con usted y ya le platicué que es lo que pedimos y lo que está sembrando, venga usted y reciba esta agua bendita por Dios y el patrón San Miguel Arcángel que aquí encontramos y que nosotros tomamos para que usted haga crecer estas semillas, tómese este alcohol para que esté contento su corazón y espíritu, le dejo dos ceras y cuatro ramitos de flor, un poco de alcohol y agua bendita.

23:16 Ave María Purísima usted madre tierra y padre ya hable con usted y ya le dije que es lo que necesitamos, que es lo que estamos sembrando venga usted y reciba una agua para Dios señor patrón San Miguel Arcángel bendijo esta agua y usted lo crece aquí lo encontramos y aquí lo tomamos nosotros y nos lo tomamos este alcohol pero usted que este feliz su corazón y su alma le traigo esta dos ceras y cuatros ramitos de flor un poco de alcohol y esta santa agua bendita ya que fue bendito por Dios vengan usted Dios y la Virgen agradezcan este sahumero con humo, Ave María Purísima, Ave María Purísima.

(Momento de prender las velas)

Un pequeño santo rosario aquí diré frente a usted y con su bendición y su palabra padre Dios y tú santo espíritu y santo poder lo que hoy sembramos en esta tierra será bendecido. Padre Santo Jesucristo, Dios del Calvario, señor de Tlacotepec, padre santo de los cerros y santo José y santa María, Dios San Martin Caballero obispo, aquí estamos presentes, ya les rogamos. Santa madre tierra algunos te recuerdan y otros no, pero por eso hoy yo pido por este trabajo ante usted, ante Dios y mamá la virgen, aquí caminamos en frente de esta tierra Ave María Purísima que así se haga. En el nombre del padre, del hijo y del Espíritu Santo, amén.

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”

www.uv.mx

