BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

CENTRO DE AGROECOLOGÍA

MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ EN DOS FORMAS DE MANEJO CAMPESINO EN CHIGNAUTLA, PUEBLA

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN:

MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

PRESENTA

DULCE PATRICIA BRIONES ARANDA

DIRECTOR DE TESIS

DR. PRIMO SÁNCHEZ MORALES

ASESORES

DR. OMAR ROMERO ARENAS

DR. IGNACIO OCAMPO FLETES

DR. MIGUEL ACOSTA MIRELES

Puebla, Pue., julio, 2023

La presente tesis, titulada: "**Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en dos formas de manejo campesino en Chignautla, Puebla**", realizada por la alumna **Ing. Dulce Patricia Briones Aranda**, bajo la dirección del Comité Tutoral indicado,ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: _____
Dr. Primo Sánchez Morales

ASESOR: _____
Dr. Omar Romero Arenas

ASESOR EXTERNO: _____
Dr. Ignacio Ocampo Fletes

ASESOR EXTERNO: _____
Dr. Miguel Acosta Mireles

REVISORA EXTERNA: _____
Dra. Martina Blanca Bautista

Puebla, Pue., julio de 2023.

Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas
Instituto de Ciencias (ICUAP)
Edificio VAL 1, Km 1.7 carretera a
San Baltazar Tetela, C.P. 72960,
San Pedro Zacachimalpa, Puebla
01 (222) 229 55 00 Ext. 1302
masagro@correo.buap.mx

Agradecimientos

A lo largo del camino en la realización de esta tesis he contado con el valioso apoyo y colaboración de diversas personas e instituciones. En este sentido, me complace iniciar esta serie de agradecimientos a aquellos que contribuyeron de manera significativa a la culminación de este importante proyecto académico, ya que, sin su participación no habría sido posible. A través de este pequeño gesto, deseo expresar mi sincero agradecimiento a cada una de estas personas e instituciones que directa o indirectamente sumaron a este trabajo.

En primera instancia expreso mi sincero agradecimiento a los campesinos que tuvieron a bien proporcionarme la información necesaria para esta investigación, mi reconocimiento a ellos por su ardua labor manteniendo viva la tradición de la siembra del maíz, compartiendo de generación en generación su sabiduría y amor por el campo. Su labor es un testimonio vivo de la estrecha relación entre la naturaleza y la humanidad, y un legado invaluable que nos inspira a trabajar en armonía con la tierra para asegurar un futuro sostenible.

Quiero agradecer al comisariado ejidal de Chignautla y al comisariado de los bienes comunales San Mateo por su amable disposición para participar en esta investigación, en particular al señor Catalino Tapia González, comisario ejidal, y al señor Dolores Cecilio Serafín, comisario de los bienes comunales, por su apertura y por guiarme en las principales problemáticas de su comunidad. Asimismo, agradezco al señor Juan Bautista del comité de vigilancia por su apoyo al convocar a diversos productores e invitarlos a participar en la primera fase del trabajo.

Un especial agradecimiento al señor Tereso Clímaco, a la señora Victoria Jiménez Bautista, a la señora Elena Rodríguez, al señor Taurino Bautista Gutiérrez, a la señora Gudelia Flores Bautista, al señor Carmelo y su esposa la señora Mago, a todos ellos, por su gentileza, y su cálido recibimiento.

A la doctora Carmen Campos, quien ha sido una figura fundamental en mi investigación al acercarme de manera directa a los productores. Su relación con las y los campesinos de las comunidades fue clave para establecer un vínculo cercano con ellos y obtener información de primera mano, lo que me ayudó a ver de cerca la realidad de los productores y enriquecer mi trabajo con perspectivas valiosas, de igual manera, expreso mi gratitud a sus hijos, el MVZ. Jorge Mejía Campos y al Ing. Enrique Mejía Campos, por acompañarme en diversas ocasiones en visitas a los productores y por apoyarme en las actividades de campo relacionadas con el muestreo de suelo.

Al señor Ascención Hernández Santos y a su familia, especialmente a su hijo, el Ing. Guillermo Hernández García por apoyarme en la aplicación de la encuesta a campesinos productores de maíz.

Este trabajo es fruto de su colaboración.

Asimismo, expreso mi sincero agradecimiento al Dr. Ignacio Ocampo Fletes por sus valiosas contribuciones y su amplio conocimiento en el área de la evaluación de la sustentabilidad. Su pericia y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Gracias, Dr. Ignacio, por ser un mentor excepcional.

Al Dr. Primo Sánchez Morales, gracias por su dedicación, orientación y apoyo de principio a fin en este desafío, así como su paciencia y compromiso con mi crecimiento académico. Su mentoría deja una huella duradera en mi formación profesional.

Al Dr. Miguel Acosta Mireles, por su generosidad al compartir su conocimiento durante el curso de captura de carbono, el cual fue muy completo y enriquecedor, proporcionando una base sólida de conocimientos y herramientas en este campo de investigación de vital importancia en la mitigación del cambio climático, además por su invaluable apoyo brindándome retroalimentación desde su experiencia como investigador para mejorar mi trabajo.

Al Dr. Omar Romero Arenas, por sus comentarios y sugerencias, que fueron clave para alcanzar resultados sólidos.

A la Dra. Martina Blanca Bautista, como revisora de este trabajo, por sus observaciones y sus comentarios constructivos. Su perspectiva y su dedicación en revisar y brindar retroalimentación contribuyeron a mejorar significativamente mi documento de tesis.

Al Dr. Humberto Martínez Bautista, del Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) por su orientación durante el proceso de realización de algunos de los análisis estadísticos en mi tesis. Su experiencia y conocimientos en el campo de la estadística fueron fundamentales para comprender y aplicar adecuadamente las técnicas requeridas.

A la coordinación del posgrado y al Dr. José Antonio Rivera Tapia, por el apoyo económico para la realización del análisis de suelo, que fue parte importante de este trabajo.

Al ahora Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por brindarme el apoyo económico para poder dedicarme de lleno a la investigación durante la realización de mis estudios de posgrado.

Mi más profundo agradecimiento a mi familia por su incondicional apoyo moral y económico a lo largo de mis estudios. Su respaldo constante ha sido fundamental en la realización de este proyecto académico y personal. Con mucho cariño les dedico este trabajo.

A Octavio, una persona muy especial en mi vida, mi más sincero agradecimiento, por su generosidad y apoyo que han sido un impulso invaluable para alcanzar mis metas y perseguir mi pasión por la investigación.

A mis compañeros de generación: Hanne, Paty, Mara, Ángeles, Kevin, Luis, Alba, Saira, también a los amigos que hice durante la maestría: Esteban y Adri, por ser parte de mi red de apoyo, gracias por formar parte de esta travesía y por compartir esta experiencia juntos.

ÍNDICE

Resumen 9
Abstract 10
I. INTRODUCCIÓN 11
II. ANTECEDENTES 14
III. MARCO TEÓRICO 17
3.1. Conceptualización de Sustentabilidad 17
3.2. El desarrollo sostenible 17
3.3. El enfoque agroecológico 19
3.4. Agricultura tradicional y conservación de la biodiversidad 27
3.4.1. Agroecosistemas campesinos 28
3.4.2. Los sistemas agroforestales (SAF) 29
3.5. La evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas 31
IV. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN 33
4.1. Justificación 33
4.2. Planteamiento del problema 34
4.3. Objetivo general 35
4.3.1. Objetivos específicos 36
4.4. Hipótesis general 36
4.4.1. Hipótesis específicas 36
V. MATERIALES Y MÉTODOS 37
5.1. Descripción de la zona de estudio 37
5.2. Enfoque de la investigación 41
5.3. Técnicas de investigación 42
5.4. Análisis de los datos 44
5.5. El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) 45
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 49
6.1. Paso 1: Determinación del objeto de estudio 49
6.2. Paso 2: Identificación de los puntos críticos del sistema 63
6.3. Paso 3: Selección de indicadores estratégicos 63
6.4. Paso 4: Medición y monitoreo de indicadores de sustentabilidad 72

6.4.1. Atributo Productividad 72
6.4.2. Atributo estabilidad, resiliencia y confiabilidad 92
6.4.3. Atributo Adaptabilidad (flexibilidad) 106
6.4.4. Atributo Equidad 110
6.4.5. Atributo Autodependencia (Autogestión) 113
6.5. Paso 5. Presentación e integración de resultados 116
6.6. Paso 6. Conclusiones y recomendaciones 129
6.6.1. Conclusiones 129
6.6.2. Recomendaciones 130
VII. BIBLIOGRAFÍA 132
ANEXO 1 149
ANEXO 2 152

Índice de figuras

Figura 1. Microlocalización de la zona de estudio. 38
Figura 2. Mapa de uso del suelo en la zona de estudio 39
Figura 3. El ciclo de evaluación en el MESMIS 46
Figura 4. Sistema de producción campesina en el municipio de Chignautla, Puebla 53
Figura 5. Sexo de los entrevistados del Sistema policultivo 55
Figura 6. Edad de los entrevistados del Sistema policultivo 56
Figura 7. Escolaridad de los entrevistados del Sistema policultivo 56
Figura 8. Principales fuentes de ingreso del Sistema policultivo 57
Figura 9. Tamaño del núcleo familiar del sistema policultivo 57
Figura 10. Hijos e hijas en las actividades del agroecosistema familiar 58
Figura 11. Proporción de familiares dedicados a las actividades del agroecosistema 58
Figura 12. Principales formas de tenencia de la tierra en el sistema policultivo 59
Figura 13. Sexo de los entrevistados 59
Figura 14. Edad de los entrevistados del SMo 60
Figura 15. Escolaridad de los entrevistados del SMo 60
Figura 16. Principales actividades económicas del SMo 61
Figura 17. Tamaño de la familia nuclear de los entrevistados del SMo 61
Figura 18. Proporción de hijos e hijas dedicados a la agricultura en el SMo 62
Figura 19. Personas del núcleo familiar dedicadas a la agricultura 62
Figura 20. Régimen de tenencia de la tierra en el SMo 62
Figura 21. Rendimiento por sistema de cultivo del SPo y SMo 73
Figura 22. Cantidad de grano y zacate en el SPo y SMo 75
Figura 23. Frecuencia relativa acumulada del rendimiento de zacate y grano de maíz 76
Figura 24. Especies animales que conforman la actividad ganadera familiar de los SMRN 77
Figura 25. Aves de traspatio en agroecosistema campesino, en Chignautla, Puebla. 79
Figura 26. Uso de corral para el subsistema ovino en San Mateo, Chignautla, Puebla 80

Figura 27. a) Cerdos criollos en San Mateo, y b) Cerdo criollo en engorda en agroecosistema campesino, Chignautla, Puebla.....80
Figuras 28 y 29. Caballos empleados en la yunta de forma tradicional 81
Figura 30. Ingresos anuales derivados de la venta de animales en los SMRN.....83
Figura 31. Relación B/C en los SMRN 87
Figura 32. Frecuencia relativa acumulada de la Relación B/C de los SMRN.....88
Figura 33. Localización de los sitios de muestreo de suelo 96
Figura 34. Comportamiento de los componentes del IDA en los SMRN 104
Figura 35. Diversidad de maíces cultivados en los SMRN, a) maíz pinto arrocillo (SPo), b) maíz blanco arrocillo (SPo), c) maíz morado, azul y blanco ranchero (SPo), y d) maíz blanco (SMo)...105
Figura 36. Especies silvestres encontradas en los bordes de las parcelas a) y b) Amole (*Beschorneria yuccoides*) y c) Escobo (*Baccharis conferta*).....106
Figura 37. Dependencia de insumos externos en los SMRN.....116
Figura 38. Gráfica tipo ameba de los sistemas de manejo evaluados 119

Índice de cuadros

Cuadro 1. Superficie por uso de suelo en la zona de estudio.....40
Cuadro 2. Superficie por cultivo apoyada por el programa PROAGRO del ciclo de cultivo primavera-verano 2018 en el Ejido Chignautla. 51
Cuadro 3. Superficie por cultivo apoyada por el programa PROAGRO del ciclo de cultivo primavera-verano 2018 en San Mateo Chignautla.....52
Cuadro 4. Determinantes de los agroecosistemas en Los Humeros y San Mateo.....54
Cuadro 5. Puntos críticos como temas de investigación.....63
Cuadro 6. Puntos críticos, criterios de diagnóstico e indicadores propuestos para la evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas campesinos en las dos comunidades. 63
Cuadro 7. Distribución de frecuencias del rendimiento a nivel de sistema en el SPo.....73
Cuadro 8. Distribución de frecuencias del rendimiento a nivel de sistema en el SMo 74
Cuadro 9. Distribución de frecuencias del rendimiento de grano+ zacate (SPo).....75
Cuadro 10. Distribución de frecuencias del rendimiento de grano y zacate (SMo).....76
Cuadro 11. Cantidad de especies animales manejadas en cada SMRN.....78
Cuadro 12. Distribución de frecuencias del ingreso anual por venta de animales en el SPo 83
Cuadro 13. Distribución de frecuencias del ingreso anual por venta de animales en el SMo 84
Cuadro 14. Ingresos y costos promedio de inversión por cada sistema de manejo.....85
Cuadro 15. Desglose de costos de inversión promedio en el SPo 85
Cuadro 16. Desglose de costos de inversión promedio en el SMo 86
Cuadro 17. Distribución de frecuencias la relación B/C en el SPo.....87
Cuadro 18. Distribución de frecuencias la relación B/C en el SMo 88
Cuadro 19. Uso Equivalente de la Tierra por sistema de cultivo en Chignautla, Puebla. 90
Cuadro 20. Labores de cultivo del agroecosistema maíz en Chignautla, Puebla. 91
Cuadro 21. Porcentaje de mano de obra familiar en el SPo.....91
Cuadro 22. Porcentaje de mano de obra familiar en el SMo 92
Cuadro 23. Prácticas agroecológicas realizadas y número de productores por manejo de sistema..94
Cuadro 24. Índice de prácticas agroecológicas realizadas por sistema de manejo.....95
Cuadro 25. Promedio de las determinaciones de parámetros fisicoquímicos del suelo en ambos sistemas de manejo.....97
Cuadro 26. Grupos y componentes de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas. 100

Cuadro 27. Especies reportadas en el SPo.....101
Cuadro 28. Especies reportadas en el SMo. 102
Cuadro 29. Innovaciones reportadas para agroecosistemas campesinos en Chignautla, Puebla....107
Cuadro 30. Índice de adopción de nuevas técnicas en los SMRN. 108
Cuadro 31. Prácticas ancestrales reportadas por los campesinos en la zona de estudio.....109
Cuadro 32. Índice de técnicas ancestrales en uso. 110
Cuadro 33. Participación de hijos e hijas en actividades del agroecosistema. 112
Cuadro 34. Índice de relevo intergeneracional. 112
Cuadro 35. Cantidad de insumos empleados durante el ciclo agrícola en los SMRN. 114
Cuadro 36. Distribución de frecuencias de la dependencia de insumos externos en el SPo. 115
Cuadro 37. Distribución de frecuencias de la dependencia de insumos externos en el SMo. 115
Cuadro 38. Atributos, indicadores, valores óptimos y comparación de resultados de la evaluación de indicadores de sustentabilidad. 117
Cuadro 39. Prueba t de Welch para muestras independientes 120
Cuadro 40. Valores óptimos para las propiedades fisicoquímicas del suelo.....125

Resumen

Los agroecosistemas campesinos poseen alta diversidad biológica, sin embargo, también están sujetos a la simplificación y enfrentan problemáticas sociales como la pobreza, y la migración y, por otro lado, también la degradación ambiental. Ante esta situación, es necesario integrar el concepto de sustentabilidad en contextos de desarrollo rural bajo el diseño y adopción de estrategias de manejo de recursos naturales. El objetivo de este estudio fue evaluar la sustentabilidad de dos formas de manejo del agroecosistema maíz: policultivo (SPo) y monocultivo (SMo), en dos comunidades de Chignautla, Puebla, se analizaron catorce indicadores a través del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), considerando el ciclo de cultivo 2019-2020. Entre las técnicas cualitativas se recurrió a la entrevista semiestructurada y observación directa, y entre las técnicas cuantitativas se aplicó una encuesta a una muestra aleatoria n=65 campesinos (66% clasificados dentro del SPo y 34% en el SMo), así como análisis fisicoquímico del suelo. Como resultado de la evaluación el SPo obtuvo 68 puntos porcentuales, y el SMo obtuvo 60. Además, el SPo obtuvo mayor rendimiento, con un promedio de 1.8 t ha^{-1} como producto de la asociación de cultivos; asimismo, destacó en: zacate y grano de maíz cosechado, uso equivalente de la tierra, índice de prácticas agroecológicas, índice de agrobiodiversidad e independencia de insumos externos. La ganadería familiar es un rasgo importante del agroecosistema de la zona, el SMo generó mayores ingresos derivados de dicha actividad, con un promedio de $30,434.3 anuales; la proporción de empleos permanentes dentro de las familias campesinas fue de 45% (SPo) y 48% (SMo), y el nivel de innovación fue bajo en ambos casos. Se concluyó que el SPo tiene mayor tendencia hacia un manejo sustentable, lo cual resalta la importancia de revalorizar este tipo de agroecosistemas, cuyo potencial productivo fortalece la soberanía alimentaria.

Palabras clave: evaluación de sustentabilidad, agroecosistemas, policultivo, monocultivo, MESMIS.

Abstract

Peasant agroecosystems retain wild vegetation which coexists with different crops to obtain a variety of socio-ecological contributions; however, they are often subject to over-simplification associated to monoculture, also they are challenged by migration and limited economic opportunities, besides the problem of environmental degradation, therefore there is a strong need to integrate the concept of Sustainability in the context of rural development, for better natural resources management strategies. This study aimed to assess the sustainability of two forms of maize agroecosystem management: polyculture system (SPo) and monoculture system (SMo), in two communities in Chignautla, Puebla, Mexico, for this purpose, a set of fourteen sustainability indicators were measured through the MESMIS program, (Spanish acronym for Indicator-based Sustainability Assessment Framework), considering the 2019-2020 crop cycle. Qualitative techniques included semi-structured interviews and direct observation, while quantitative techniques involved surveying a random sample of 65 farmers (66% classified within the SPo and 34% in the SMo), as well as physicochemical soil analysis. As a result of the evaluation, SPo obtained 68 percentage points, while SMo obtained 60. Additionally, SPo achieved higher yields, with an average of 1.8 t ha^{-1} because of crop association, it also excelled in amount of corn stover and corn grain produced, land equivalent ratio, agroecological practices, agrobiodiversity index and independence from external inputs. Family livestock farming is an important characteristic of the agroecosystem in the area, and SMo generated higher income from this activity, with an average of $30,434.3 annually. The proportion of permanent jobs within peasant families was 45% (SPo) and 48% (SMo), and the level of innovation was low in both cases. In conclusion, it was determined that SPo tends to have a greater inclination towards sustainable management, emphasizing the importance of revaluing this type of agroecosystem, whose productive potential strengthens food sovereignty.

Key words: Sustainability assessment**,** agroecosystems, polyculture, monoculture, MESMIS framework**.**

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional se traduce en una creciente demanda de alimentos, la FAO (2017) estima que el sector agrícola tendrá que producir para el año 2050 el doble de alimentos, forrajes y fibras (respecto a la producción mundial en 2012), por lo que se prevé un aumento ostensible de áreas agrícolas, sobre todo en países en vías de desarrollo (Norris, 2008), lo que supone una creciente presión sobre los recursos naturales; dicho escenario junto a la amenaza del cambio climático da lugar a retos complejos en el campo de la investigación, donde las oportunidades para probar y desarrollar nuevas estrategias productivas y de conservación son cada vez más limitadas (Hunter *et al*., 2017).

A partir de la entrada de la humanidad a la nueva era geológica conocida como Antropoceno, donde las presiones humanas constituyen por primera vez el mayor impulsor del cambio planetario al ser causantes de riesgos ambientales globales, se reconoce el papel decisivo de la agricultura a nivel mundial, no solo en el desarrollo humano, sino también en los procesos del sistema de la tierra (Rockström *et al*., 2017); en este contexto, la intensificación sostenible surge como un nuevo paradigma para el desarrollo agrícola, cuya narrativa propone la producción de alimentos y la protección del medio ambiente por igual.

En la práctica se busca desarrollar sistemas agrícolas sostenibles que se desarrollen bajo enfoques de mayor eficiencia energética, conservadores de recursos naturales que sean socialmente relevantes y se relacionen bien con los medios de vida y las funciones del ecosistema que al mismo tiempo se aprovechen los servicios ecosistémicos de regulación y mantenimiento (Kuyah *et al*., 2019), como en el caso de la agroforestería, que combina técnicas forestales y agrícolas creando sistemas de uso de suelo más integrados, diversos, productivos y saludables (Silva *et al*., 2011; Somarriba *et al*., 2012).

Una de las formas de tenencia de la tierra con mayor presencia en el campo mexicano son los ejidos y comunidades agrarias, cuya posesión es poco más de la mitad de la superficie del país, los cuales desarrollan una actividad agropecuaria importante, en donde los suelos se encuentran muy cercanos a los montes, áreas forestales, manglares, entre otras zonas naturales, y son de propiedad social. Existen cerca de 32 mil ejidos y comunidades, estos,

ofertan bienes y servicios como: alimentos, ganado, materias primas, artesanías y servicios turísticos; además de prestar invaluables servicios ambientales, como la conservación de la biodiversidad, captura de carbono y recarga de acuíferos (Morett-Sánchez y Cosio-Ruíz, 2017).

El 81% de la biodiversidad y riqueza natural del país se encuentra en propiedad social, de acuerdo con el Registro Agrario Nacional (RAN); el estado de Puebla alberga 1,082 núcleos agrarios, que abarcan un área de 1, 268, 894.42 ha que representa poco más de la tercera parte de la superficie del estado, por lo que resulta de interés explorar los vínculos entre estas formas de tenencia de la tierra y la conservación de recursos naturales a través de la gestión de los posesionarios.

La sustentabilidad se presenta como un término complejo al pretender cumplir con varios objetivos simultáneamente involucrando de dimensiones productivas, ecológicas, económicas, sociales, culturales y fundamentalmente, temporales; para dicha complejidad no existen criterios universales o comunes de evaluación, en este contexto, Sarandón *et al.* (2014) señalan la necesidad de reducir dicha complejidad, a valores claros, objetivos y generales, como lo son los indicadores de sustentabilidad; y que a través del uso de estos indicadores sea posible comprender los puntos críticos de la sustentabilidad de un agroecosistema, lo que permitirá detectar tendencias desapercibidas y tomar decisiones al respecto.

Astier (2008) señala la urgencia de implementar el concepto de sustentabilidad en el contexto de los sistemas campesinos latinoamericanos, los cuales enfrentan en la actualidad problemáticas sociales como la desigualdad, la migración y expulsión de fuerza de trabajo hacia centros urbanos y por otro lado la degradación ambiental, que se ha ido acentuando, como producto del reemplazo de sistemas tradicionales por otros derivados de la revolución verde.

Estudios realizados por González *et al.* (2018) en el Ejido Chignautla han evidenciado un continuo deterioro de los suelos asociado con actividades antropogénicas, estos autores sostienen que el rápido avance de dicho deterioro puede traer consigo problemas relacionados con la estabilidad de los suelos, y con ello afectar de forma directa la soberanía alimentaria de las comunidades ahí asentadas.

Uno de los nuevos retos para las comunidades y gobiernos locales es el diseño y la ejecución de acciones que inciden en temas de alta prioridad relacionados con la sustentabilidad y lo concerniente al cuidado del medio ambiente, esto incluye desde el diagnóstico de problemáticas con perspectiva de largo plazo, el establecimiento de objetivos para atender dichas problemáticas, estrategias para el logro de objetivos, líneas de acción para apoyar las estrategias planteadas y el establecimiento de indicadores estratégicos que permitan el seguimiento al logro de objetivos.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la sustentabilidad del agroecosistema campesino de maíz con diferente forma de manejo (policultivo y monocultivo) en dos comunidades del municipio de Chignautla, Puebla.

II. ANTECEDENTES

Los sistemas de evaluación de sustentabilidad se han implementado en años recientes a través del uso de indicadores dentro de contextos como las ciencias ambientales, la gobernanza local y la toma de decisiones, así como en el mejoramiento del manejo de agroecosistemas (Moreno y Fidélis, 2015).

En este sentido, diversas experiencias de evaluación de manejo en diferentes agroecosistemas han sido reportadas en la literatura: Delgadillo y Delgado (2007) evaluaron a través del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) la sustentabilidad de dos sistemas basados en prácticas de conservación de suelos en una comunidad andina de Bolivia, en dicho trabajo se asoció al atributo de adaptabilidad la implementación de obras de conservación de suelos como estrategia productiva, encontrando que en el sistema alternativo el 85% de las familias llevan a la práctica obras tales como terrazas de formación lenta, terrazas de absorción, zanjas y control de cárcavas.

Cherubin *et al.* (2019) realizaron un estudio en la Región Amazónica de Colombia en sistemas agroforestales introducidos como alternativa sustentable de recuperación del suelo y su productividad, a través del método de Evaluación Visual de Suelos (EVS), demostrando un gran potencial de recuperación del suelo y de tierras degradadas a través de sistemas más diversificados en áreas previamente ocupadas para pastoreo, los sistemas evaluados fueron: bosque pristino perteneciente al bioma Amazónico y sistemas agroforestales con diversos grados de integración con especies como el árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*), guayabo peruano (*Eugenia stipitata*), cacao blanco (*Theobroma grandiflorum*), árbol de cacao (*Theobroma cacao*), y plátano (*Musa* spp.) así como un pastizal con un área cubierta principalmente por pasto africano (*Urochloa humidicola*).

Por otro lado, Jones *et al.* (2019) exploraron el papel que juega la percepción de la comunidad local dentro de las evaluaciones de sustentabilidad, a través de un diagnóstico participativo donde se propuso y se discutió una lista de indicadores ambientales, sociales y económicos, enfocados en un área degradada cercana a los ríos Asopo en Grecia, el estudio reveló que los indicadores más importantes para el desarrollo sustentable en el área, de acuerdo con la

percepción de los locatarios, fueron, la calidad medioambiental y la calidad de vida, de forma similar, Albicette *et al.* (2009) a través del uso de la metodología MESMIS, propusieron junto con un grupo de productores agropecuarios una serie de indicadores, para evaluar la sustentabilidad de sistemas productivos en el litoral oeste uruguayo, como resultado, los productores establecieron indicadores sencillos afines a sus prácticas de manejo y con base en los puntos críticos realizaron su propia definición de sustentabilidad, en este tipo de estudios destacan la participación de locatarios y la incorporación de su percepción en evaluaciones de sustentabilidad.

En México, de igual forma, se han ido acumulando experiencias en el ámbito de la evaluación de sustentabilidad, tal es el caso del estudio llevado a cabo por Sánchez *et al.* (2014), desde una perspectiva agroecológica y conducido de acuerdo a la metodología del MESMIS, cuyo objetivo fue evaluar la sustentabilidad del agroecosistema maíz en el Valle de Huamantla, Tlaxcala, a través del análisis de 18 indicadores los autores concluyeron que el sistema de producción tradicional es más sustentable en relación al sistema en transición agroindustrial, al mostrar una mayor cantidad de biomasa cosechada respecto a la cantidad de energía fósil empleada. Además, un mayor uso y transmisión de prácticas tradicionales, la ética de los productores en el manejo de recursos naturales, adaptación a políticas gubernamentales, así como los altos niveles de soberanía alimentaria.

Otra experiencia similar en el estado de Tlaxcala fue la evaluación comparativa del sistema milpa tradicional y el sistema de producción de maíz en monocultivo (Sánchez y Romero, 2017), en dicho estudio se propusieron 15 indicadores económicos, sociales y ambientales asociados a los atributos de los agroecosistemas. Como resultado del estudio mencionado, se obtuvo una diferencia notoria a favor del sistema milpa tradicional en la mayoría de los indicadores propuestos, de los cuales destacan: relación beneficio/costo, eficiencia en el uso de energía fósil y agrodiversidad.

Por otro lado, se ha hecho hincapié en los múltiples servicios ecosistémicos asociados a sistemas agroforestales, por lo que se ha incrementado en años recientes el número de estudios dedicados a cuantificar el potencial de mitigación de CO_2 en este tipo de sistemas. Rodríguez-Larramendi *et al.* (2016) estimaron la biomasa y el carbono acumulado en bosques de pino, encino y roble, demostrando que, a partir de la edad del árbol, se puede estimar la

biomasa total acumulada y que la mayor acumulación, tanto de biomasa como de carbono, se produjo en los bosques de pino con un almacén de 158 mg ha^{-1} y la menor en los de roble con un almacén de 117 mg ha^{-1}, debido a su estado fisiológico determinado por la menor edad del arbolado.

Espinoza-Dominguez *et al.* (2012) realizaron un estudio para estimar el almacén de carbono usando modelos alelométricos en sistemas agroforestales con base en café en Huatusco, Veracruz, y reportaron que el SAF que presentó la mayor cantidad de carbono aéreo fue aquel con presencia de cedro rosado con 114 mg C ha^{-1}. En este estudio se incluyó como referencia de una condición no agroforestal un bosque primario el cual presenta una captura de 355 mg C ha^{-1}, cabe mencionar que el sistema con menor captura de carbono (65 mg C ha^{-1}) fue un sistema silvopastoril: bovinos, pastos, colorín y/o huizache.

Un estudio realizado por Figueroa-Navarro *et al*. (2005), en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca evidenció diferencias en la concentración y acumulación de carbono en componentes del bosque mesófilo y sistemas agrícolas establecidos en laderas, siendo las especies del género *Alnus* aquellas con mayor concentración de carbono (51.3%). Además, los acahuales presentaron las concentraciones de carbono más altas y las praderas las concentraciones más bajas. Lo anterior es similar a lo reportado por García-Aguilar *et al.* (2015) quienes analizaron la influencia de variables fisiográficas sobre la productividad de la biomasa en bosques de encino-pino, donde concluyeron que la exposición y altitud influyeron en varios de los componentes aéreos de biomasa, encontrándose valores mayores en exposición sur 913.1 t ha^{-1} y altitudes de 2630 a 2900 m.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Conceptualización de Sustentabilidad

El término Sustentabilidad fue usado por primera vez con relación al manejo forestal en Europa en el siglo XVIII, pero fue hasta la década de 1980 que dicho término coincidió con la idea de desarrollo que se planteaban entonces las naciones del mundo, la sustentabilidad fue definida como la habilidad de un sistema para recuperar su estado de equilibrio después de un episodio de disturbio (Scoones, 2016).

Galvan-Miyoshi (2008) sugiere que la sustentabilidad es un metaconcepto, que parte de principios generales y tiene una aplicación universal, además de ser un concepto dinámico, pues no pretende llegar a un estado ideal sino a un devenir en constante cambio, en el que es importante considerar perspectivas de largo plazo así como tratar de entender dinámicas socioambientales en el tiempo y en el espacio para poder integrar dicho concepto en el diseño y la difusión de sistemas de manejo de recursos naturales.

Por otro lado, Gutiérrez y Martínez (2010) mencionan que, en la práctica, cada comunidad, nación y generación deberá abordar el tema del significado de sustentabilidad, y la forma en que se logrará en sus propias circunstancias, esto subsume un principio de autonomía. Por otro lado, Marzall y Almeida (1999) señalan que el concepto de sustentabilidad es dinámico y parte de un sistema de valores, que no existe una definición universal, sino que, este debe ser analizado y construido de acuerdo con el contexto social en donde se estudia.

Torres *et al.* (2004) señalan que la sustentabilidad puede entenderse como el conjunto dinámico de modelos interrelacionados, similares y cuyo objetivo consiste en la modificación de un proceso socioeconómico de tal forma que la relación del ser humano con la naturaleza pueda ajustarse a demandas más racionales.

3.2. El desarrollo sostenible

En 1987 la Comisión Mundial del Medio Ambiente de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) definió el desarrollo sostenible como “aquel que responde a las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” y a partir de la Declaración de Río de Janeiro sobre el

Medio Ambiente y Desarrollo en 1992, ha habido un sinfín de definiciones, así como iniciativas políticas en torno al tema.

En el año 2015 la ONU publicó la Agenda 2030, que consta de diecisiete objetivos para alcanzar el desarrollo sostenible (ODS), estos objetivos están estrechamente relacionados entre sí, e incluyen desde la erradicación de la pobreza, la igualdad de género, la reducción de las desigualdades, hasta acciones por el clima y la protección de la vida de ecosistemas terrestres. Este último objetivo implica una gestión sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación, detener la degradación de los suelos y la pérdida de la biodiversidad. En este punto, el brote de COVID-19 ha evidenciado la necesidad de abordar las amenazas que enfrentan especies silvestres, pues el 75% de las nuevas enfermedades infecciosas en humanos son de origen zoonótico y están estrechamente relacionadas con la salud de los ecosistemas, según el informe de Fronteras 2016 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2016).

México ha incluido en la Política social del Plan Nacional de Desarrollo (2019-2024) las premisas éticas, sociales, ambientales y económicas en que se apoya el desarrollo sostenible, y al respecto señala que hacer caso omiso de dicho paradigma no solo conduce a gestar desequilibrios de todo tipo en el corto plazo, sino que conlleva la violación de derechos de quienes aún no han nacido. Asimismo, sostiene que el poder Ejecutivo Federal deberá considerar los impactos de sus políticas y programas en el tejido social, en la ecología y en los horizontes políticos y económicos del país, guiándose por un modelo de desarrollo que subsane injusticias sociales y promueva el crecimiento económico sin provocar afectaciones a la convivencia pacífica, a los lazos de solidaridad, a la diversidad cultural ni al entorno (DOF, 2019).

Uno de los principales rasgos del modelo de desarrollo sostenible es que se basa en el uso racional de los recursos naturales, asimismo, supone cambios en los sistemas de producción y de consumo, en la regulación, normatividad, organización institucional del sector público y en la percepción cultural de la sociedad (Rojas, 2003).

Holden *et al*. (2017) aseveran que los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda de la ONU para el 2030 (2015) descansan en premisas equivocadas al buscar 'equilibrar las tres

dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental', sin distinguir entre objetivos primarios y secundarios, y que, al ser un número amplio de objetivos, esto equivaldría a no tener ninguno si no se ha asignado prioridad alguna, asimismo, afirman que cualquier noción de desarrollo sostenible debe reconocer límites ambientales como *Nuestro futuro común* (1987) sugirió, y como se plantea en el nuevo enfoque de límites planetarios (Steffen *et al*., 2015), en el que se considera que el crecimiento económico no puede ser uno de sus objetivos clave.

Holden *et al*. (2017) señalan que ha habido un giro de carácter ético en la literatura en torno al desarrollo sostenible; y en este sentido, proponen un modelo normativo que interpreta el desarrollo sostenible como un conjunto de restricciones a las que deben adherirse las actividades humanas y económicas, basado en tres principios morales: satisfacer las necesidades humanas, garantizar la equidad social, y respetar límites ambientales.

3.3. El enfoque agroecológico

La transición hacia una agricultura y sistemas agrícolas sustentables se apoya en enfoques holísticos, que a su vez se basan en la adopción de una visión a largo plazo, tal es el caso de la Agroecología, cuyo potencial para producir cambios transformadores para cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), es cada día más reconocido (Barrios *et al.,* 2020).

En los últimos seis años la Agroecología ha emergido en el ámbito de las políticas internacionales como paradigma alternativo para la alimentación y la agricultura desde donde poder abordar las múltiples crisis en el sistema alimentario y contribuir a los ODS permitiendo una transición justa (Anderson *et al*., 2019).

Algunas de las formas en que la Agroecología incide en los ODS son las siguientes:

Reducción de la pobreza (ODS 1) y trabajo decente y crecimiento económico (ODS 8): La pobreza tiene muchas dimensiones, siendo sus principales causas el desempleo, la exclusión social y la vulnerabilidad de ciertas poblaciones a los desastres, las enfermedades y otros fenómenos que les impiden ser productivas (Naciones Unidas, 2018). Al fortalecer la agricultura familiar, diversificar los ingresos de las familias y promover prácticas agrícolas

más resilientes, se puede contribuir a reducir la pobreza y generar empleo digno en zonas rurales.

Hambre cero (ODS 2): El sector de la agricultura es el mayor empleador del mundo y proporciona medios de vida al 40% de la población mundial actual. Es la mayor fuente de ingresos y empleos para los hogares rurales pobres (Naciones Unidas, 2018). La Agroecología promueve prácticas agrícolas sostenibles que pueden aumentar la productividad y la seguridad alimentaria, especialmente en ámbitos rurales, para dicho fin la Agroecología se basa en principios ecológicos para el diseño de sistemas agrícolas más sostenibles, fomentando prácticas como la diversificación de cultivos, el manejo integrado de plagas y la conservación de suelos, que contribuyen a la resiliencia de los sistemas agrícolas, la protección del medio ambiente y la reducción del uso de agroquímicos. Al mejorar las técnicas de cultivo, conservar la biodiversidad y fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas, se puede contribuir a reducir el hambre y la malnutrición.

Vida de ecosistemas terrestres (ODS 15): La naturaleza proporciona elementos vitales para nuestra supervivencia como especie, proporciona oxígeno, regula nuestros sistemas meteorológicos, poliniza nuestros cultivos, y produce nuestros alimentos, y materias primas. Sin embargo, se encuentra sometida a una presión cada vez mayor. La actividad humana ha alterado casi el 75 % de la superficie terrestre desplazando la flora y fauna silvestre y a los espacios naturales a un rincón del planeta cada vez más pequeño (Naciones Unidas, 2018). En este sentido, la Agroecología promueve la conservación y el manejo sostenible de la biodiversidad en los agroecosistemas. Al fomentar la diversidad de cultivos, el uso de prácticas agroecológicas y la protección de los recursos naturales, se puede contribuir a la conservación de la biodiversidad y a la protección de los ecosistemas terrestres.

Gliessman (2020) sostiene que los conceptos y enfoques de la Agroecología ayudan a hacer frente a las vulnerabilidades del sistema alimentario que se han manifestado a raíz de la pandemia por COVID-19, para poder garantizar el acceso a los alimentos locales a corto plazo, y al mismo tiempo, promover movimientos en el ámbito político y social para el cambio de políticas públicas en el largo plazo, que al tratarse el alimento de un derecho humano básico y no solo de una mercancía, es necesario un cambio de paradigma que promueva la sostenibilidad en todo el sistema alimentario.

Al respecto Altieri y Nicholls (2020) mencionan que frente al COVID 19, la Agroecología se ha ido posicionando como la única forma de producción agrícola que puede proveer a las familias rurales con beneficios socioeconómicos y ambientales, brindando alimentos a las masas urbanas, de forma equitativa y sostenible.

Barrios *et al.* (2020) sostienen que la Agroecología ha pasado de ser una disciplina basada en la ecología, definida por cinco principios básicos: eficiencia, diversidad, sinergias, regulación natural y reciclaje, a ser un concepto más amplio y multidimensional el cual requiere una definición más compleja, destacando aquellos principios sociales, políticos y económicos relacionados a dicho concepto. Su visión transformadora y práctica, no solo involucra la gobernanza, el poder y la democracia, sino que los coloca en el centro, pues va más allá de suplir demandas de carácter técnico de los agroecosistemas, ya que incluye la autonomía y la auto organización en las comunidades, lo cual a su vez tiene mucho que ver con la capacidad de los pueblos para reclamar poder en procesos de transformación (Anderson *et al*., 2019).

Por todo lo anterior, diversos autores como Gliessman (2020) sostienen que dentro de la Agroecología se pueden distinguir tres vertientes o facetas; siendo a la vez ciencia, praxis y movimiento social; asimismo, Gliessman (2020) señala que la Agroecología opera en elementos como:

- La aplicación de conceptos ecológicos holísticos a la producción agrícola, buscando siempre maximizar el aprovechamiento de servicios ecosistémicos, y favoreciendo la biodiversidad funcional y la regulación biológica, a fin de disminuir la dependencia de insumos externos.
- Construcción y fortalecimiento de procesos regionales de abajo hacia arriba con soluciones acordes al contexto local.
- Innovaciones basadas en la co-creación de conocimientos al combinar los conocimientos tradicionales y prácticos de los campesinos con conocimientos científicos, buscando de este modo mejorar su autonomía y su capacidad de adaptación.
- Énfasis en la soberanía alimentaria, equidad de género, equidad intergeneracional y derechos de los pueblos indígenas.

La Agroecología implica una visión esencialmente diferente de la forma de producir y consumir alimentos, mientras contribuye a la creación de sistemas alimentarios equitativos. Comer es un acto ecológico y político, de modo que cuando los consumidores apoyan a los agricultores locales, en lugar de las cadenas alimentarias corporativas, ayudan a crear sostenibilidad socioecológica y resiliencia (Altieri y Nicholls, 2020).

3.3.1. La Agroecología como ciencia

Hecht (1999), señala que el término Agroecología se consideró como ciencia desde los años 70´s del siglo pasado, sin embargo, menciona: la ciencia y las prácticas dentro de la Agroecología, son tan antiguas como los orígenes de la agricultura, conocimientos ancestrales presentes en diversos tipos de agriculturas indígenas, contrario al enfoque reduccionista de la agricultura convencional.

La Agroecología refiere el estudio de fenómenos ecológicos dentro del campo de cultivo considerando interacciones y relaciones entre los individuos con una visión ecológica y teniendo en cuenta que los factores de orden social afectan la resiliencia y la estabilidad de todo sistema productivo (Hecht, 1999).

La Agroecología como ciencia, se construye sobre la base de la conservación de los recursos naturales y otros aspectos de la agricultura tradicional, local y de pequeña escala y al mismo tiempo aprovecha los conocimientos y métodos modernos de la Ecología. Gliessman (2002) la define como la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles.

Uno de los fundamentos básicos de la Agroecología es el concepto de “ecosistema”, definido por Odum (1971) y Gliessman (1998) como un sistema funcional de relaciones complementarias entre los organismos vivientes y su ambiente delimitado por fronteras establecidas en un tiempo y espacio, que parece mantener un estado de equilibrio estable y que puede considerarse como sostenible.

Por otro lado, un “agroecosistema” es un sitio de producción agrícola, como puede ser una granja, visto como un ecosistema. Este concepto se basa en principios ecológicos, y brinda

un marco de referencia, para el análisis de sistemas de producción de alimentos en su totalidad (Gliessman, 1998).

Bover-Felices y Suárez-Hernández (2020) señalan que la manipulación humana de los agroecosistemas introduce cambios tanto en la estructura como en la función del ecosistema natural, modificando algunas de sus propiedades clave, es decir las propiedades del sistema, mismas que se manifiestan cuando todos sus componentes se encuentran organizados y que pueden funcionar también como indicadores de su nivel de sostenibilidad.

3.3.2. La Agroecología como práctica o tecnología

Aun cuando la agricultura tradicional tiene la posibilidad de contribuir con modelos invaluables de producción, así como prácticas a desarrollar en una agricultura sostenible, no es capaz de producir la cantidad de alimentos que se requieren en los centros urbanos y los mercados globales porque está enfocada en suplir las necesidades locales y a pequeña escala. A nivel mundial ha surgido un consenso sobre la necesidad de adoptar nuevas estrategias en el ámbito del desarrollo agrícola para asegurar una producción estable de alimentos y que sea acorde con la calidad ambiental, donde se busca alcanzar la soberanía alimentaria, erradicar la pobreza, conservar y proteger el medio ambiente y los recursos naturales.

Bello *et al.* (2020) señalan que para los movimientos sociales de América Latina es claro que la actual crisis alimentaria no será resuelta por la industria alimentaria global, sino que, es necesario impulsar la producción agrícola de pequeña escala que sea controlada por las comunidades locales, basada en métodos agroecológicos, el cuidado de la salud y calidad del suelo, y de la biodiversidad, respecto a lo anterior, la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Campesinos y de Otras Personas que Trabajan en las Zonas Rurales adoptada en 2018 sugiere que las nuevas políticas públicas apunten a alcanzar la Soberanía Alimentaria, la cual se entiende como el derecho de las personas a acceder a una alimentación sana y culturalmente apropiada, producida de forma sustentable, así como el derecho de las personas a definir su propio sistema agroalimentario.

Respecto a lo anterior Bello *et al.* (2020) sostienen que dicho proceso pone en el centro del debate las aspiraciones, las necesidades, los modos de vivir, de productores, distribuidores y consumidores de las cadenas agroalimentarias, siendo el punto de partida en la formulación

de políticas y diseño de sistemas alimentarios en todo el mundo en lugar de las demandas del libre mercado y las corporaciones que dominan el sistema alimentario global.

Dado que los agroecosistemas locales no existen aislados, estos son susceptibles a cambios en el mercado, pero también están sujetos a efectos del cambio climático; sin embargo, los problemas productivos de cada uno son altamente específicos del sitio y por lo tanto requieren de soluciones específicas. Ante este panorama, se plantea el desafío de mantener una flexibilidad o adaptabilidad a cambios socioeconómicos impuestos desde afuera así como cambios ambientales, siendo los elementos básicos de un agroecosistema sustentable, por un lado, la conservación de recursos renovables, la adaptación del cultivo, y por otro lado el mantenimiento de la productividad en niveles moderados, enfatizando la sustentabilidad ecológica de largo plazo en lugar de la productividad de corto plazo, para lo cual se requiere cumplir ciertas condiciones, que de acuerdo a Altieri y Nicholls (2000) son las que se describen a continuación:

• Reducción del uso de la energía y recursos, regulación de insumos energéticos.

• Reducción de las pérdidas de nutrientes mediante la contención efectiva de la lixiviación, escurrimiento, erosión, y mejorar el reciclado de nutrientes a través del uso de leguminosas, abonos orgánicos, compostas, etc.

• Desde el punto de vista del manejo, los componentes básicos de un agroecosistema sustentable incluyen: mecanismos de reciclaje de nutrientes mediante rotaciones de cultivo, sistemas de policultivo combinados con ganado, sistemas agroforestales y de intercultivos basados en leguminosas.

Por otro lado, Gliessman (1998), propone también una serie de principios agroecológicos, así como tecnologías y procesos socioecológicos asociados a cada uno para el desarrollo de fincas familiares agroecológicas, como se describe a continuación:

1). Reciclaje de nutrientes y materia orgánica: Cierre de ciclos, estímulo de la biodiversidad del suelo, tratamiento de aguas residuales, estímulo a la acción participativa, gestión del conocimiento en las familias campesinas y actores implicados en el desarrollo de la Agroecología.

2). Diversificación vegetal y animal, a nivel de especies o genéticamente en tiempo y espacio: policultivos, rotaciones, integración de ganadería con agricultura, fomento a la diversidad funcional.

3). Optimización del flujo de nutrientes y agua: producción de abonos orgánicos usando residuos de cosecha y excretas del subsistema pecuario, cosecha de agua, surcos en contorno, etc.

4). Provisión de condiciones edáficas óptimas para los cultivos: adición de abonos orgánicos, abonos verdes, coberturas, acolchado, riego eficiente y uso de insumos biológicos.

5). Minimización de pérdidas por patógenos: estimulación de fauna benéfica, uso de cortinas rompevientos, coberturas para prevenir la competencia con arvenses.

6). Explotación de sinergias provenientes de interacciones biológicas: policultivos y rotaciones, incorporación de árboles frutales, forestales, y de animales, uso de fuentes renovables de energía.

7). Viabilidad económica: desarrollo de razas criollas adaptadas al entorno natural, conservación de variedades autóctonas y localmente adaptadas, ajuste a las preferencias de la familia y mercado de consumidores locales, articulación de canales de comercialización cortos y desarrollo de políticas de mercado que favorezcan a los productores.

3.3.3. La Agroecología como movimiento social

Holt-Giménez y Altieri (2013) destacan la dimensión política de la Agroecología en América Latina, y sostienen que va más allá de un proyecto científico y tecnológico. De este modo, la Agroecología es una ciencia aplicada que se inserta en un contexto social, y que problematiza las relaciones capitalistas de producción, en alianza con los movimientos sociales agrarios.

Altieri *et al*. (2017) argumentan sobre la importancia de traer a la Agroecología a la arena política de los movimientos sociales progresistas que abrazan a esta ciencia como pilar de la soberanía alimentaria, la autonomía local y el control comunitario de tierra, agua y agrobiodiversidad.

Uno de los objetivos de la Agroecología es transitar hacía un paradigma agrícola alternativo que fomente la producción local de alimentos por parte de pequeños agricultores y sus

familias sobre la base de la innovación y la conservación de los recursos naturales, sin embargo, este proceso implica el acceso del campesinado a la tierra, las semillas, el agua, mercados locales, créditos agrícolas, siendo parte importante la creación de políticas económicas de apoyo, incentivos financieros y capacitación en tecnologías agroecológicas (Altieri y Toledo, 2011). Esto tiene estrecha relación con la propuesta teórica de Van der Ploeg (2010) quien define la condición campesina como una lucha constante por la construcción de autonomía a través de la reducción de la dependencia en un mundo caracterizado por la desigualdad acompañado de la búsqueda del campesino de participar en la coproducción con la naturaleza de formas que fortalezcan su base de recursos naturales (suelo, biodiversidad, agua), de acuerdo a esta definición, Van der Ploeg (2010) sostiene que la adopción de la Agroecología entre los campesinos se dará en la misma medida en que puedan fortalecer la base de sus recursos y volverse más autónomos.

Para organizaciones como la vía campesina (LVC) el concepto de agroecología significa más que principios ecológicos para la producción de alimentos y fibras, pues incorporan aspectos sociales, culturales, y políticos en su propio concepto de Agroecología. Asimismo, señalan que para la aplicación de los principios agroecológicos en el contexto de la agricultura campesina es fundamental que los campesinos se involucren activamente en la implementación de dichos principios, lo cual implicaría aprovechar su conocimiento local, su ingenio y su capacidad de innovación (Rosset y Martínez-Torres, 2012).

Los procesos de autonomía en el ámbito rural se extienden al ámbito educativo, tal es el caso de las escuelas campesinas, que son proyectos educativos, políticos y culturales, y el movimiento campesino a campesino (CAC), que ha fungido como dispositivo educativo para organizaciones y movimientos sociales rurales articulados en La Vía Campesina, aunque originalmente se originó como metodología de aprendizaje e intercambio de conocimientos, ha evolucionado hacia un movimiento social más amplio que promueve la colaboración, el intercambio de conocimientos y la solidaridad entre los agricultores. Un aspecto importante del movimiento CAC es que, reconoce la importancia de la autonomía de los agricultores y su potencial para tomar decisiones informadas sobre sus sistemas de producción y formas de vida, como base para la transformación agrícola y social.

3.4. Agricultura tradicional y conservación de la biodiversidad

El grado de diversidad vegetal en los patrones de policultivo, es una de las características más sobresalientes e importantes de los sistemas agrícolas tradicionales en el trópico latinoamericano, ya que las interacciones entre cultivos, animales y árboles, resulta en sinergias benéficas que permiten a los agroecosistemas patrocinar su propia fertilidad, control de plagas y productividad. Los huertos familiares son un ejemplo de forma de uso de la tierra altamente eficiente, al incorporar una variedad de cultivos de diferente hábito de crecimiento (Altieri y Nicholls, 2000).

A menudo, los agroecosistemas tradicionales se encuentran ubicados en zonas de gran diversidad biológica, donde es posible encontrar cultivares adaptados al entorno local, así como parientes silvestres de dichos cultivares, en los sistemas agrícolas donde se emplean múltiples variedades de cada cultivo, se provee de diversidad intraespecífica e interespecífica, incrementando la seguridad de la cosecha a través de procesos de resistencia a las enfermedades que generalmente atacan líneas particulares de cultivos. El paradigma de la agricultura tradicional del país juega un papel importante en la producción de alimentos, puesto que es una manifestación propia de su agrobiodiversidad, cuyo universo está representado por las pequeñas unidades familiares de producción bajo temporal (Turrent *et al*., 2017).

Hay que tomar en cuenta que la biodiversidad y la agricultura están estrechamente relacionadas, y que las relaciones entre el uso de la tierra y la biodiversidad son fundamentales para comprender los vínculos entre las personas y su entorno. A continuación, se detallan algunos de los roles de la biodiversidad en la agricultura (Kazemi *et al.*, 2018).

Por un lado, la biodiversidad es uno de los principios básicos de la agricultura sustentable o sostenible, provee numerosos servicios ecosistémicos, y, por otro lado, la agrobiodiversidad hace referencia a la biodiversidad de los agroecosistemas en conjunto con cultivos y animales, la variedad genética dentro de las poblaciones, variedades y razas, organismos del suelo, insectos, hongos y especies silvestres, y de la cual existen cuatro componentes:

• Recursos genéticos para la alimentación y la agricultura.

• Biodiversidad que sostiene y apoya servicios ecosistémicos de la agricultura.

• Factores abióticos como el clima.

• Dimensión socioeconómica y cultural.

Para entender el rol de la biodiversidad en la agricultura es necesario estudiar el estatus de los servicios que brinda la biodiversidad en la agricultura o en la agrobiodiversidad, puesto que la biodiversidad tiene un papel dominante en las estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático.

Actualmente existen diversos esfuerzos encaminados a la mitigación del cambio climático y la adaptación a él, como los que a continuación se mencionan: i) fuentes energéticas más eficientes y más limpias; ii) menor consumo de energía y mayor reciclaje de agua en las zonas urbanas, con ciudades cada vez más ecológicas; iii) agricultura y silvicultura sostenibles; y iv) protección de los ecosistemas para que proporcionen servicios de almacenamiento de carbono y otros servicios ecosistémicos (IPCC, 2014).

Los ecosistemas terrestres pueden almacenar alrededor de 2,100 Gigatoneladas (Gt) de carbono en organismos vivos, residuos y materia orgánica del suelo a nivel mundial. Se estima que esta cantidad podría ser tres veces más carbono que el almacenado en la atmósfera. Por esa razón, los organismos vivos juegan un papel importante en la regulación del clima. El almacenamiento de carbono en los ecosistemas, entre otros factores, depende de la composición de especies, tipos de suelo disponibles y clima (Kazemi *et al.*, 2018).

Existen alternativas de manejo para promover el aumento del C en el suelo como la reducción del uso de arado en los sistemas agrícolas, recurriendo a la labranza de conservación, labranza cero o establecimiento de sistemas agroforestales que incorporen componentes arbóreos con especies anuales, dichas prácticas podrían aumentar los almacenes de carbono en los agroecosistemas tanto en la parte subterránea como en la parte aérea.

3.4.1. Agroecosistemas campesinos

Los agroecosistemas campesinos, aunque son considerados los sistemas agrícolas de mayor diversidad biológica también están sujetos a su simplificación (Lores *et al.*, 2008). En este sentido, no se ha profundizado en el estudio de la biodiversidad de utilidad práctica para los campesinos, considerando que esta es la base de múltiples estrategias para enfrentar problemas de la producción y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Lores *et al.* (2008)

consideran que es un indicador importante del grado de deterioro de los agroecosistemas, por lo cual sugieren el incorporarlo en estudios sistemáticos que permitan evaluar el estado de la biodiversidad manejada por campesinos y así poder definir alternativas para mejorarla y al mismo tiempo contribuir a la sostenibilidad de la familia campesina.

Lores *et al.* (2008) plantean que un agroecosistema debería contar con alrededor de 150 especies agrícolas para ser considerado de buena diversidad, asimismo, mencionan que cualquier estrategia para incrementar la diversidad de especies debe enfocarse en garantizar la soberanía alimentaria de las familias campesinas, de forma tal que sus necesidades nutricionales de energía, grasa, proteínas y vitaminas se suplan.

La agricultura familiar campesina tiene un rol indisociable con la soberanía alimentaria, la revalorización de alimentos y saberes tradicionales, la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de los recursos naturales, fuente de resiliencia ante fenómenos asociados al cambio climático (Peredo y Barrera, 2019).

3.4.2. Los sistemas agroforestales (SAF)

Toledo y Barrera-Bassols (2008) refieren que los SAF son uno de los escenarios donde más se ha desarrollado la diversidad biocultural, cuyas prácticas son formas de uso del suelo con una larga historia de manejo en México. Es así que en estos sistemas se desarrolla: la preservación selectiva de componentes forestales o silvícolas (silvestres), leñosos y perennes, el manejo de especies agrícolas (plantas perennes o anuales) cultivadas y con altos niveles de domesticación, en algunas ocasiones el manejo de animales silvestres, en proceso de domesticación o ya domesticados, y unidades sociales de producción que realizan el manejo de los distintos componentes para maximizar las interacciones ecológicas entre elementos forestales y agrícolas del sistema en un contexto cultural, ecológico y económico particular (Moreno-Calles *et al*., 2013).

El término de agroforestales ha sido usado para describir prácticas donde intencionalmente se retienen o siembran árboles en terrenos usados para la producción de cultivos o pastos, estos sistemas combinan elementos de la agricultura como cultivos y animales con elementos forestales, puede ser al mismo o en forma secuencial, partiendo del valor productivo y protector característico de los árboles. En este tipo de sistemas existe una amplia variación

de prácticas que pueden considerarse agroforestales: sistemas silvopastoriles, agrosilvopastoriles. Todos los sistemas agroforestales son ejemplo del aprovechamiento de la diversidad y del desarrollo sucesional para la producción de alimentos y otros productos agrícolas (Gliessman, 2002).

Gliessman (2002) señala que la incorporación de los árboles en los agroecosistemas es una práctica antigua, la cual se ha venido presentando especialmente en regiones tropicales y subtropicales, zonas donde los agricultores han sembrado árboles junto con cultivos agrícolas y animales para completar sus necesidades alimenticias, obtener leña y forrajes, igualmente para conservar y proteger sus recursos naturales.

Respecto al papel ecológico de los árboles en este tipo de sistemas, Gliessman (2002) hace énfasis en la capacidad que poseen los árboles de alterar drásticamente las condiciones del ecosistema, del que forman parte y señala que la productividad sostenible de los sistemas agroforestales está ligada estrechamente a dicha característica de los árboles. Dado que sus raíces penetran a niveles más profundos que las de los cultivos anuales, la estructura del suelo se ve afectada, de igual forma, el reciclaje de nutrientes y las relaciones de humedad del suelo. En la parte superficial, el árbol modifica las condiciones de luz, lo que tiene efectos sobre procesos como la evapotranspiración; además, las hojas caídas proveen una cobertura al suelo, aparte de ser una fuente importante de materia orgánica.

Aunado al papel ecológico, los sistemas agroforestales (SAF) son importantes reservorios de carbono, siendo la acumulación de este compuesto más evidente en la biomasa de árboles y arbustos. Espinoza-Dominguez *et al*. (2012) mencionan que los sistemas agroforestales almacenan aproximadamente 9, 21, 50 y 63 mg C ha^{-1} en biomasa aérea y en raíces en regiones semiáridas, subhúmedas, húmedas y templadas respectivamente, y la captura de carbono en todos los almacenes se estima entre 12 y 228 mg C ha^{-1}. Oelbermann *et al*. (2004) sugieren que el potencial en la captura de carbono en biomasa viva en sistemas agroforestales es superior en zonas tropicales, en relación con el potencial de almacenamiento en zonas templadas.

Ramírez *et al.* (2016) señalan que los servicios ecosistémicos constituyen todos aquellos beneficios directos o indirectos que la población obtiene de los ecosistemas. Entre los

directos destacan procesos de “cosecha” de agua y producción de alimentos como servicios de aprovisionamiento y la regulación de ciclos de salinización, inundaciones o degradación de suelos en los servicios de regulación. Mientras que los indirectos se asocian al funcionamiento de procesos del ecosistema, como lo son, el proceso fotosintético, los ciclos de nutrientes, la formación y almacenamiento de materia orgánica y la productividad primaria. Los árboles y plantas en los ecosistemas forestales eliminan dióxido de carbono de la atmósfera y lo retienen eficazmente en sus tejidos, lo que confiere a dichos sistemas un importante potencial en la captura de Gases de Efecto Invernadero (GEI), particularmente CO_2, razón por la cual, en los últimos años ha crecido el interés por incrementar el contenido de carbono en la vegetación a través de la implementación de sistemas de manejo como los sistemas agroforestales.

3.5. La evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas

La sustentabilidad se presenta como un término complejo al pretender cumplir con varios objetivos simultáneamente involucrando dimensiones productivas, ecológicas, económicas, sociales, culturales y, fundamentalmente, temporales. Para esta complejidad no existen criterios universales o comunes de evaluación.

Sarandón *et al.* (2014) señalan la necesidad de simplificar la complejidad y la multidimensión de la sustentabilidad en valores que sean claros, objetivos y generales, es decir, en indicadores; y que a través del uso de estos indicadores sea posible comprender los puntos críticos de la sustentabilidad de un agroecosistema, lo que permitirá detectar tendencias desapercibidas y tomar decisiones al respecto. Por ejemplo, decidir sobre la conveniencia de la adopción de cierto paquete tecnológico, evaluar la introducción de un nuevo cultivo, comparar diferentes sistemas de producción, y evaluar el riesgo de determinado sistema de producción en la escala temporal; sin embargo, el diseño, desarrollo y aplicación de indicadores exige un enfoque holístico-sistémico, así como un buen conocimiento del agroecosistema (Albicette *et al*., 2009).

La evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas se ha convertido en un área de investigación extensa que muestra un importante enfoque en la definición de indicadores para

la evaluación de sistemas desde los puntos de vista económico, ambiental y en menor medida social (Masera *et al*., 2000).

Los estudios realizados definen indicadores aplicables a escalas nacionales, macro-regionales y para proyectos específicos. Torres *et al*. (2004) señalan la necesidad de integrar el concepto de sustentabilidad en contextos de desarrollo regional en el proceso de diseño, adopción y difusión de los sistemas productivos, y en las estrategias de manejo de recursos naturales, para lo cual se requiere de la aplicación de metodologías de evaluación.

Altieri y Nicholls (2000) sostienen que en todo intento dirigido a evaluar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales se deben combinar medidas de estabilidad productiva con medidas de aceptación sociocultural, protección al ambiente y mejora económica. Asimismo, mencionan que la agroecología se perfila como una disciplina única que bosqueja los principios ecológicos básicos para estudiar, diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas desde un punto de vista integral, puesto que no puede existir un solo tipo de intervención tecnológica para el desarrollo y las soluciones deben diseñarse de acuerdo con las necesidades y aspiraciones de las comunidades específicas, así como a las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes.

Existe una variedad de marcos de evaluación de sustentabilidad, algunos aplicados a entornos de agricultura comercial y de gran escala, o concentrados en una sola área, o un sistema de manejo específico; para este proyecto de investigación se ha recurrido metodológicamente al Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), puesto que se enfoca en la producción campesina y es susceptible de desarrollarse en el ámbito local, además de buscar entender de forma integral las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo como producto de la intersección de procesos ambientales, sociales y económicos, asimismo, propone un proceso participativo de evaluación, lo que asegura una constante retroalimentación.

IV. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Justificación

La soberanía alimentaria es un concepto político, que surge y es adoptado en organizaciones campesinas y civiles, de acuerdo con Ortega y Rivera (2010) en el año 2002 el concepto de soberanía alimentaria fue definido como "el derecho de pueblos, comunidades y países a definir sus propias políticas agrícolas, laborales, alimentarias y de la tierra, de forma que sean ecológica, social, económica y culturalmente apropiadas a sus circunstancias únicas. Lo cual incluye el derecho a la alimentación, así como a la producción de alimentos, esto implica que los pueblos tienen el derecho a una alimentación inocua, nutritiva y culturalmente apropiada, así como a los recursos para la producción de alimentos y a la capacidad para mantenerse a sí mismos y a sus sociedades".

Por otro lado, Ortega y Rivera (2010) sugieren que el concepto de soberanía alimentaria se basa principalmente en cinco ejes: 1) acceso a los recursos, 2) modelos de producción, 3) transformación y comercialización, 4) consumo alimentario y derecho a la alimentación y 5) políticas agrarias.

De acuerdo con la FAO *et al.* (2013), la seguridad alimentaria es una condición que existe cuando las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a los alimentos que necesitan, en cantidad y calidad para su adecuado consumo y utilización biológica, garantizándoles un estado de bienestar general que coadyuve al logro de su desarrollo.

Las actividades y los actores del sistema alimentario generan impactos en el medio ambiente. Dentro de los impactos ambientales, los sistemas alimentarios contribuyen de forma significativa a las emisiones de GEI, y, por lo tanto, al cambio climático (IPCC, 2019). A su vez, el cambio climático tiene interacciones complejas con los sistemas alimentarios, que conducen a un estado de inseguridad alimentaria mediante los efectos de este, ejercidos sobre la disponibilidad de alimentos, el acceso, utilización y estabilidad.

El enfrentar los efectos del cambio climático requiere incrementar la resiliencia de los productores y las comunidades rurales. Para desarrollar estrategias de adaptación adecuadas, así como específicas hay que partir de entender el impacto del cambio climático en diferentes

regiones agroclimáticas y luego analizar el nivel de vulnerabilidad a través de la evaluación de los agroecosistemas (Nicholls *et al*., 2015).

En las estrategias que se persiguen en el desarrollo sostenible se plantea cambiar el modelo dominante de producción agrícola, hacia otros modelos más sustentables, dentro de estos, se destacan los modos de producción campesina, cuyos principios coinciden con principios agroecológicos, los cuales tienen el principal objetivo de desarrollar agroecosistemas con mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía (Loaiza *et al*., 2014).

La sustentabilidad dentro del desarrollo regional puede ser evaluada mediante diferentes metodologías, las cuales proveen elementos de análisis como las relaciones jerárquicas entre sistemas de producción en el marco de distintos niveles espaciales y temporales (Torres *et al.*, 2004).

La evaluación a través de marcos metodológicos como el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad, constituye una herramienta que permite derivar indicadores que reflejan el comportamiento de los aspectos más relevantes de un sistema de manejo, así como sus tendencias en cuanto a productividad, vulnerabilidad, aumento de servicios ecológicos y socioeconómicos (Masera *et al*., 2000). De acuerdo con Sarandón (2002) el uso de indicadores con valores claros, objetivos y generales permite la operativización del concepto de sustentabilidad, mejorando la toma de decisiones en los sistemas de producción agropecuarios.

4.2. Planteamiento del problema

Turrent *et al.* (2014) señalan que cerca de la mitad de los terrenos de temporal son laderas con pendientes que van desde 4 a 10% hasta abruptas (más de 40%), lo cual supone un factor que los vuelve propensos a la erosión hídrica, que, aunado al manejo extractivista del suelo con prácticas como la roza-tumba-quema, coloca a estos suelos agrícolas en situación de vulnerabilidad frente a fenómenos que acompañan al cambio climático como lluvias torrenciales, temperaturas altas y sequías.

González *et al.* (2018) mencionan que 49% de los suelos en el Ejido Chignautla presentan un grado de erosión media, y 51% presenta un grado de erosión baja, estos autores atribuyen

la erosión, entre otros factores, a malas prácticas agrícolas relacionadas con el monocultivo de maíz, haba y forrajes, y otras actividades como el sobrepastoreo de ganado, aunado a esto, la simplificación de los agroecosistemas, en busca de elevar la productividad, como es el caso del monocultivo de maíz, trae consigo además de la degradación de suelos y contaminación de aguas subterráneas, una continua pérdida de la biodiversidad (Tissier *et al*., 2016), lo anterior constituye una amenaza a la sustentabilidad en dicha región, situación que influye directamente en las condiciones socioeconómicas de la población rural, y que pone en riesgo la soberanía alimentaria.

En los últimos años diversas actividades desarrolladas por el hombre han ejercido una presión constante sobre los recursos naturales, los bosques de pino no han sido la excepción, y al respecto existe evidencia de que estos ecosistemas presentes en la subcuenca de Tecuantepec-Apulco, los cuales han sido sobreexplotados y cuyo entorno está en permanente modificación debido a actividades como la tala inmoderada, el crecimiento de espacios agrícolas y ganaderos (Rosas, 2008).

Turrent *et al*. (2017) sostienen que para el país es de alta prioridad detener la degradación de suelos agrícolas para poder aspirar a la seguridad alimentaria ante un cambio climático inminente, pues junto a esta crisis de degradación de suelos convive la crisis económica, igual de apremiante para la agricultura tradicional de pequeña escala.

Ante el escenario descrito, se plantearon las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los aportes ambientales, socioculturales y económicos de los agroecosistemas tradicionales de policultivo en comparación con los agroecosistemas de monocultivo?, y ¿Cuál es el estado de la sustentabilidad de los agroecosistemas campesinos en la zona de estudio?

Para responder a tales interrogantes, se han planteado los objetivos e hipótesis que guían el desarrollo de este trabajo de investigación y que se describen a continuación:

4.3. Objetivo general

Evaluar el estado actual de la sustentabilidad ambiental, sociocultural y económica del agroecosistema campesino de maíz bajo dos formas de manejo (policultivo y monocultivo) en dos comunidades de Chignautla, Puebla.

4.3.1. Objetivos específicos

1. Analizar y describir las características del agroecosistema campesino de maíz en sus dos formas: policultivo y monocultivo, en términos de composición y manejo con el propósito de identificar los factores que contribuyen a la sustentabilidad.
2. Conocer los aportes ecológicos, socioculturales y económicos del agroecosistema maíz con características de manejo en policultivo, así como los beneficios del agroecosistema de maíz en monocultivo.

4.4. Hipótesis general

Los agroecosistemas campesinos de maíz, con características de policultivo, se destacan por su capacidad de conservar la biodiversidad, contribuir al abastecimiento de alimentos y servir como una fuente diversificada de ingresos económicos para las familias campesinas. Por lo tanto, su nivel de sustentabilidad supera al de los agroecosistemas de maíz más simplificados, como los de monocultivo.

4.4.1. Hipótesis específicas

1. Los agroecosistemas campesinos de maíz con características de policultivo en la zona de estudio son más diversificados y su nivel de mecanización es más bajo comparado con los agroecosistemas campesinos de maíz en monocultivo, por lo que son más sustentables.
2. Los agroecosistemas campesinos de maíz en policultivo poseen un buen potencial productivo al incorporar y conservar especies adaptadas al entorno local.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se conforma por las comunidades de Los Humeros y San Mateo ubicadas al norte del municipio de Chignautla localizado al Noroeste del Estado de Puebla en los paralelos 19º 39' 18" y 19º 51' 12" de Latitud Norte, y los meridianos 97º 22' 18" y 97º 29' 4" de Longitud Oeste (INAFED, 2010), el municipio de Chignautla colinda al este con Xiutetelco; al noreste con el municipio de Teziutlán; al norte con Hueyapan; al oeste con Tételes de Ávila Castillo y Tlatlauquitepec y al suroeste con el municipio de Cuyoaco (INEGI, 2010).

Chignautla cuenta con un total de 28 localidades y una población de 35,223 habitantes 48.1% hombres y 51.9% mujeres, la cual creció un 16.4% en comparación con la población en 2010 (INEGI, 2020).

De acuerdo con la Declaratoria de las Zonas de Atención Prioritaria para el año 2019, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2018), con base en criterios de resultados que para tal efecto define el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, el municipio de Chignautla se ubica dentro de los 1,115 municipios asociados a las Zonas de Atención Prioritarias Rurales, con un alto grado de marginación, alto grado de rezago social y 14.61% de población en pobreza extrema (CONEVAL, 2018).

En cuanto al tipo de propiedad, el municipio de Chignautla, cuenta con una superficie aproximada de 14,735.67 ha, entre tierras de uso común (5,740.72 ha), tierras ejidales (4,549.06 ha), así como terrenos de propiedad nacional y privada. Conforme al Registro Agrario Nacional (RAN).

El SIAP (2022) reporta que, el municipio de Chignautla cuenta con una superficie sembrada de 1,950 ha de maíz, 635 ha de cebada, 28 ha de papa, 7 ha de frijol, 0.60 ha de jitomate, entre los cultivos anuales; y una superficie destinada a la producción de cultivos perennes de: 40.35 ha de pera 37 ha de aguacate, 39 ha de manzana.

El área de estudio (Figura 1), presenta un gradiente altitudinal de 2,460 a 3,150 msnm. El eje de la actividad agrícola en ambas comunidades es la producción de cultivos básicos como el

frijol y el maíz de temporal, en donde predomina del cultivo de maíces criollos adaptados a las condiciones de la zona, entre los que destacan: blanco, amarillo, azul, morado y rojo. El cultivo de maíz se lleva a cabo en dos formas de manejo: el monocultivo (maíz solo), y en sistemas de policultivo o sistema milpa, que puede ser intercalado con frijol (*Phaseolus vulgaris*), con calabaza (*Cucurbita argyrosperma*), o con haba (*Vicia faba*), este último también se cultiva en monocultivo.

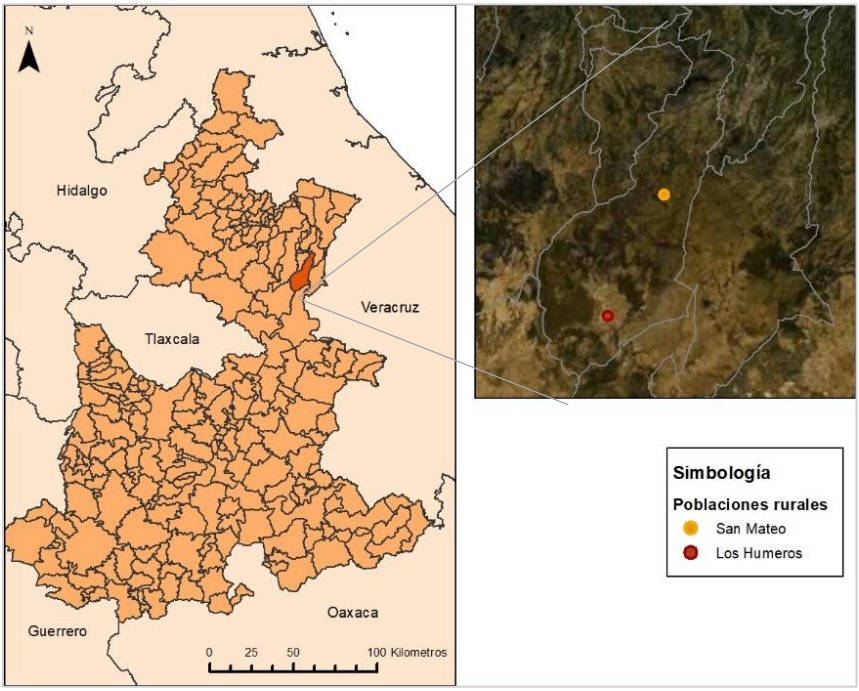

Figura 1. *Microlocalización de la zona de estudio.*

Fuente: Elaboración propia, con información de INEGI, Marco Geoestadístico Nacional (2022).

Hidrología

La zona de estudio se encuentra dentro de la Región Hidrológica 27, que corresponde al río Tecolutla, subcuenca del río Tecuantepec-Apulco. González *et al.* (2018) mencionan que el Ejido Chignautla se encuentra en una microcuenca arreica cuya superficie se caracteriza por la carencia de cursos de agua y/o corrientes intermitentes, mismos que se pierden por evaporación o infiltración.

Uso de suelo y vegetación

La zona de estudio se encuentra inmersa en la Región Terrestre Prioritaria (RTP) 105: Cuetzalan, definida por la CONABIO como prioritaria para la conservación, cuya vegetación

está conformada principalmente por bosque mesófilo de montaña y bosques mixtos de pino y encino (Figura 2).

Hernández *et al*. (2017) señalan que las zonas templadas, con estos tipos de vegetación, se caracterizan por presentar una alta biodiversidad, así como una variedad de servicios ecosistémicos, se estima que los bosques de pino-encino concentran alrededor del 24% del total de la flora del país, con una parte considerable de especies endémicas (Sánchez-González, 2008).

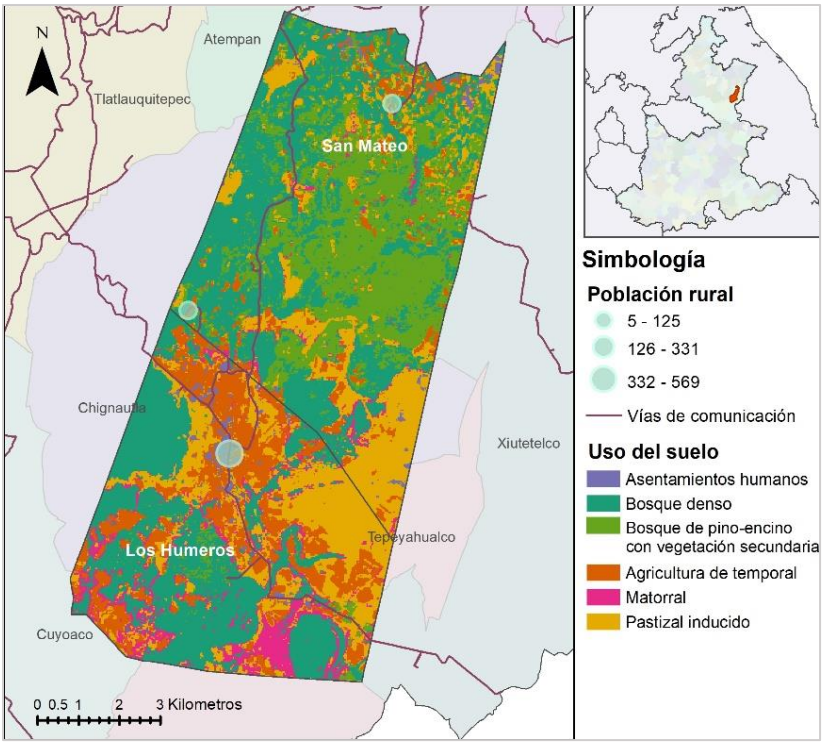

Figura 2. *Mapa de uso del suelo en la zona de estudio*

Fuente: Elaboración propia con información del Conjunto de datos vectoriales de Uso de suelo y vegetación Serie VI del INEGI.

En la actualidad, la superficie cubierta por pinares en México es del 5% de todo el territorio nacional, la mitad o la tercera parte de lo que fue en la época prehispánica (Rzedowski, 1978). La distribución altitudinal de los pinos va de 1,500 a 3,000 msnm, aunque diversos autores sostienen que pueden alcanzar un límite superior de 4,000 en el centro y sur del país (Sánchez-González, 2008).

El género *Pinus* está representado por un aproximado de 100 especies distribuidas en todo el mundo. México se considera un centro secundario de distribución de diversidad de este

género con un total de 46 especies, 3 subespecies, y 22 variedades de pino, de las cuales 55% son especies endémicas, lo cual hace al país el mayor poseedor de especies de pinos en el mundo, existe evidencia de que los procesos evolutivos y de diversificación del género ocurrieron en las principales cadenas montañosas del país y de Centroamérica, los cuales funcionaron como corredores biológicos, definiendo así el patrón de distribución espacial que tienen los pinos actualmente (Sánchez-González, 2008).

Para estimar el área actual aproximada por uso de suelo se realizó una clasificación por máxima verosimilitud en el Software ArcGis 10.5 (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Superficie por uso de suelo en la zona de estudio.*

Categoría	Tipo de cobertura	San Mateo Superficie (ha)	Ejido Chignautla Superficie (ha)
1	Asentamientos humanos	58.97	94.95
2	Bosque denso	2,149.23	1,702.71
3	Agricultura de temporal	341.77	1,044.03
4	Matorral	93.58	514.60
5	Pastizal inducido	1,019.71	1,129.98
6	Bosque de pino-encino con vegetación secundaria	2,066.17	114.86

Fuente: Elaboración propia con información del conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación serie VI del INEGI.

Geología

En las provincias fisiográficas donde se ubica la RTP 105 se encuentran diversos afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, cada provincia posee características litológicas, así como estructurales asociadas a los fenómenos que actuaron en ellas durante el tiempo geológico. Dentro de la RTP 105 se encuentran tres provincias fisiográficas: 1) Provincia Sierra Madre Oriental; 2) Provincia Llanura Costera del Golfo Norte; y 3) Provincia del Eje Neovolcánico también conocida como Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). En esta última provincia se encuentran rocas del Mesozoico como las calizas y lutitas del Jurásico Superior en el municipio de Chignautla (INEGI, 1987).

Suelo

De acuerdo con el Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Serie II (INEGI, 2007) los tipos de suelo predominante en la zona de estudio son: Regosoles, los

cuales son poco evolucionados, a menudo arenosos y pobres en materia orgánica, con una fuerte tendencia al lavado de las bases, por lo que son poco productivos para la agricultura, tanto por sus características como por el relieve en el que se distribuyen (Vivanco *et al*., 2010). En esta zona se presentan asociados a suelos Andosoles, conocidos por su origen volcánico, asimismo, se pueden encontrar Leptosoles.

Clima

En general el clima es templado húmedo, con abundantes lluvias en verano y todo el año en la parte alta de la cuenca; cálido húmedo y subhúmedo en la parte baja, con temperatura media anual de 14-26 °C, precipitación total anual de 1,200-4,000 mm (CONABIO, 2017).

La estación climatológica no. 21209: Los Humeros (CFE), localizada en el área de estudio, cuyo estatus actual es "suspendida", enlista datos desde enero de 1984 hasta el 30 de septiembre del 2009, donde reporta temperaturas mínimas de 14.8 °C, promedio de 17.5 °C y máximas de 19.7 °C, así como una precipitación media anual de 386.4 mm.

La estación climatológica más próxima en operación dentro de la misma cuenca es la Estación No. 21059: Oyameles, Tlatlauquitepec, que se ubica en las coordenadas geográficas: 19° 42' 51" Latitud N, y 97 °32' 51" Longitud O, a una altura de 2,670 msnm y opera desde el 1° de noviembre de 1954 hasta la actualidad. Esta estación reporta una temperatura mínima de 13 °C, máxima de 28.7 °C y promedio de 22.5 °C, y una precipitación media anual de 680.4 mm, condiciones características de un clima templado húmedo y templado subhúmedo.

5.2. Enfoque de la investigación

Dada la naturaleza multidimensional de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas propuestos dentro de este estudio, esta investigación se desarrolló bajo un enfoque de investigación mixto desde la perspectiva de la Agroecología. De acuerdo con Hernández-Sampieri *et al.* (2014) el enfoque mixto representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como integración y discusión conjunta para realizar inferencias como producto de toda la información recabada y de esta forma lograr un mayor entendimiento del fenómeno en estudio.

Para este trabajo se empleó como herramienta metodológica el Marco para la Evaluación de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS).

5.3. Técnicas de investigación

Las técnicas cualitativas y cuantitativas que se consideraron en este estudio se describen a continuación:

5.3.1. Técnicas cualitativas:

Se realizó observación directa en parcelas agrícolas de ambas comunidades con el objeto de conocer el contexto físico y social, así como las interacciones y vínculos entre los actores y su entorno.

Se llevó a cabo una entrevista semiestructurada a 21 personas (ANEXO 1), entre informantes y actores clave (autoridades municipales, ejidales y comunales, miembros del consejo de vigilancia y personas que en un momento ejercieron algún cargo dentro de su comunidad, productores representativos ubicados a través de funcionarios locales, técnicos y representantes de instituciones como la Delegación Regional de la Secretaría de Agricultura), para identificar puntos críticos de los sistemas de manejo y con la finalidad de realizar una caracterización detallada de los mismos en cuanto a sus determinantes tecnológicas y de manejo (especies y variedades manejadas, especies dominantes, métodos de labranza, labores culturales, prácticas de conservación de suelo, fertilización, manejo de plagas y enfermedades, manejo de arvenses) y socioeconómicas (especies que conforman el subsistema pecuario, escala de producción, objeto de la producción, tipo de mano de obra y organización para la producción).

Para detallar las características biofísicas (clima, geología, altitud, hidrología, tipo de suelo y vegetación) se realizó revisión documental (Corbetta, 2007).

De lo anterior se obtuvieron diferentes tipos de evidencia como grabaciones de audio y fotografías (Hernández-Sampieri *et al*., 2014).

5.3.2. Técnicas cuantitativas:

- Encuesta a campesinos cuyas parcelas están destinadas a la producción de granos básicos y cultivos de mayor importancia en la zona de estudio, tomando en cuenta

tanto a quienes realizan asociaciones de cultivos anuales como a quienes producen en sistema monocultivo, para dicho fin se tomó como referencia el listado de beneficiarios del Programa PROAGRO para el ciclo de cultivo Primavera-verano 2018, a partir del cual se determinó el tamaño de muestra, obteniéndose una n=65 por las dos comunidades, como se describe más adelante.

- Análisis de calidad de suelo (USDA, 1999; NOM-021-RECNAT-2000) en los agroecosistemas que sean comparados como parte de la evaluación de sustentabilidad.

5.3.2.1. Determinación del tamaño de muestra

Sampieri, *et al.* (2014) mencionan que las muestras probabilísticas son elementales en los diseños de investigación transeccionales, tanto descriptivos como correlacionales-causales, como es el caso de las encuestas de opinión o los sondeos, donde se tiene por objetivo hacer estimaciones de variables en la población. Para hacer una muestra probabilística se requieren dos procedimientos: 1) calcular el tamaño de muestra representativa de la población, y 2) selección de elementos muestrales o casos de tal forma que todos tengan la misma probabilidad de ser elegidos.

Para el cálculo de la muestra se recurrió al uso de la fórmula propuesta por Montesano (1999) citada por Aguilar-Barrojas (2005). La población (N) se consideró el total de productores enlistados en el padrón de PROAGRO, es decir, 122 (44 pertenecientes a los Humeros y 78 a San Mateo) dado que no se tiene un marco de muestreo previo se usó un porcentaje estimado de 90% y 10% para *p* y *q* considerando que el 90% de los productores enlistados cultivan maíz, por otro lado, el nivel de confianza que se empleó fue del 95% (Corbetta, 2007), una vez aplicada la fórmula arrojó un tamaño de muestra n= 65. Por sus características de manejo, se clasificaron: 43 en el Sistema Policultivo (SPo) y 22 en el Sistema Monocultivo (SMo).

$$n = \frac{N{Z_{\alpha/2}}^2 * pq}{Nd^2 + {Z_{\alpha/2}}^2 * pq}$$

$$n = \frac{(122 * 1.96)^2 (0.9 * 0.1)}{(122 * 0.05)^2 + (1.96)^2 (0.9 * 0.1)}$$

$$n = 65$$

Donde:

p= proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (0.9)

q= proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno de estudio (1-p). (0.1)

$Z_{\alpha/2}$ = valor crítico de la distribución normal estándar (1.96)

N= Tamaño de la población (122)

d= nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio (0.05).

Una vez determinado el tamaño de muestra se procedió al diseño del cuestionario, instrumento de la encuesta (ANEXO 2), para verificar la calidad del instrumento y poder mejorarlo se llevó a cabo validación de caso único, la cual consistió en una aplicación especial del cuestionario a un productor conocido y residente del mismo municipio de Chignautla, con características similares de los destinatarios de la encuesta, de esta forma se obtuvo una retroalimentación sobre las preguntas incluidas en el cuestionario, la facilidad para responderlas, la extensión total del cuestionario, y sobre aquellas preguntas que resultaban confusas. Además de la validación de caso único se realizó la validación de experto, realizada por una persona con experiencia tanto en el diseño de cuestionarios como en el tema de la evaluación de sustentabilidad, principalmente en agroecosistemas de maíz.

5.4. Análisis de los datos

El análisis estadístico es un proceso total de organización y resumen, procesamiento y obtención de conclusiones de los datos. En este, se combinan metodologías descriptivas, y metodologías inferenciales.

Entre las técnicas descriptivas se puede distinguir el análisis exploratorio, el cual incluye la utilización de métodos gráficos, y, por otro lado, el análisis confirmatorio de los datos se relaciona con la estadística inferencial, a través de este análisis se establecen hipótesis causales que más tarde serán confrontadas con datos empíricos, por medio de diversas metodologías estadísticas, las cuales pueden, o no, verificar las hipótesis planteadas, también

pueden seguirse fines predictivos o de estimación de ciertas medidas de la población de interés.

Una vez que los datos fueron recopilados se procedió a construir la planilla de carga que se conforma por filas (para cada individuo) y columnas (para registrar información de las variables de interés) y posteriormente la base de datos cuyo objetivo es almacenar y organizar los datos obtenidos. Con la planilla de carga elaborada se procedió con la entrada de datos o "Data entry" (proceso para introducir información en la computadora), de todos los cuestionarios completos, para dicho fin, la información correspondiente a cada variable se codificó, para permitir una buena administración de la información.

Las variables numéricas y categóricas fueron examinadas considerando su significado y naturaleza, y posteriormente se realizaron los análisis temáticos correspondientes (Hernández-Sampieri *et al*., 2014) tanto por indicador como el análisis de integración conjuntando todos los elementos evaluados, mismo que contempla la modelación de variables así como la búsqueda de correlaciones cuyo fin es detectar sinergias o relaciones de competencia entre los diferentes atributos sistémicos de los agroecosistemas.

Los datos obtenidos para las variables de interés fueron analizados, realizando los cálculos correspondientes de acuerdo con las fórmulas planteadas para el análisis de cada indicador de sustentabilidad, mismos que fueron sometidos a un análisis exploratorio a través de técnicas de estadística descriptiva, como se muestra más adelante, en el apartado VI.

Para determinar si había diferencias estadísticamente significativas entre la media de los indicadores evaluados en cada sistema se efectuó una prueba t de Welch, para muestras independientes en el lenguaje de programación R versión 4.2.2 (R Core Team, 2014) con un nivel de significancia de 0.05.

5.5. El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS)

Para la evaluación de sustentabilidad con el MESMIS, se partió de los cinco atributos básicos de los agroecosistemas: 1) productividad; 2) estabilidad, resiliencia, confiabilidad; 3) adaptabilidad o flexibilidad; 4) equidad; y, 5) autodependencia (autogestión), los cuales se toman como base para la identificación de los puntos críticos para la sustentabilidad del

sistema, para después relacionarlos con otras áreas de evaluación en lo social, ambiental y económico (Masera *et al*., 2000).

El MESMIS consiste en una estructura operativa que se realiza en ciclos sucesivos los cuales configuran un proceso dinámico en espiral (Figura 3), lo que a su vez lo diferencia de otros sistemas de evaluación, puesto que no examina los sistemas de forma estática. Cada ciclo de evaluación comprende seis pasos considerando la caracterización del sistema de manejo (componentes, subsistemas e interacciones entre subsistemas), también se contempla el estudio de las fortalezas y debilidades en términos de los atributos de sustentabilidad, la selección y monitoreo de indicadores de sustentabilidad, la integración de los indicadores a través de un proceso estratégico y una fase de conclusiones y recomendaciones como se describe a continuación (Masera *et al.*, 2008):

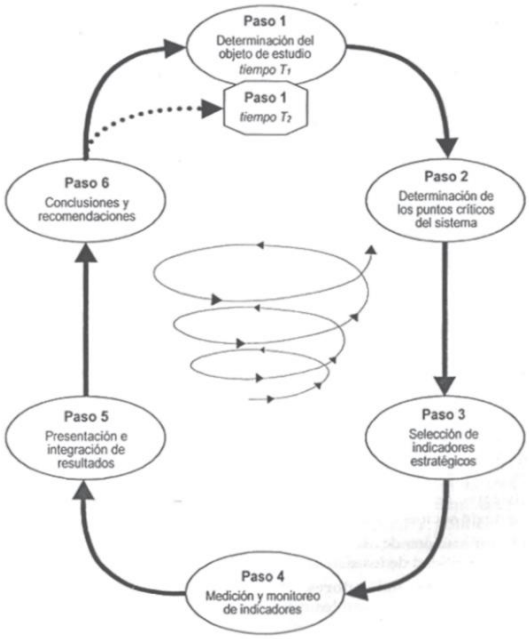

Figura 3. *El ciclo de evaluación en el MESMIS.*
Fuente: Masera *et al*. (2000).

1). Determinación del objeto de estudio

Como primer paso en el ciclo de evaluación se determinó el objeto de estudio de la evaluación, a través de: a) identificación de los sistemas de manejo a analizar incluyendo el contexto social y ambiental del lugar donde se encuentran; b) caracterización del sistema de

manejo de referencia (tradicional o convencional) que predomina en la zona; y, por último, c) caracterización del sistema alternativo.

La caracterización de los sistemas de manejo comprendió una descripción detallada de los diferentes componentes biofísicos del sistema, los insumos y productos (entradas y salidas del sistema), las prácticas agrícolas, pecuarias o forestales implicadas, así como la organización y características socioeconómicas de los productores.

2). Determinación de puntos críticos del sistema

Después de haber definido los sistemas de manejo bajo estudio, se procedió a realizar un análisis sobre los posibles puntos críticos, para lo cual se identificaron los aspectos que limitan o fortalecen la capacidad de los sistemas para sostenerse en el tiempo. Una vez identificados los puntos críticos de los sistemas, estos, se asociaron a los diferentes atributos de sustentabilidad, para posteriormente identificar los posibles criterios de diagnóstico e indicadores que permitirían evaluar el nivel de sustentabilidad de los sistemas de manejo propuestos (Masera *et al.*, 2008).

3). Selección de indicadores estratégicos

Una vez determinados los sistemas de manejo de referencia y alternativo con sus objetivos y características, fortalezas y debilidades, se realizó la identificación de los diferentes indicadores que permitirían evaluar el grado de sustentabilidad de los sistemas de manejo propuestos.

Posteriormente se establecieron los criterios de diagnóstico, los cuales ayudan a describir un atributo general de sustentabilidad, pero a un nivel de análisis más detallado, actuando como un enlace necesario entre el atributo, el indicador y el punto crítico, de modo que los indicadores propuestos permitan evaluar de manera eficiente y coherente la sostenibilidad de los sistemas. De acuerdo con Masera *et al*. (2008) no existe una lista universal de indicadores, dado que cada proceso de evaluación y cada sistema de manejo tienen sus particularidades, por lo que la selección de los indicadores se realizó en el contexto de las comunidades atendiendo a criterios como la escala del proyecto, el acceso y disponibilidad de los datos.

4). Medición y monitoreo de los indicadores

Una vez generada la lista de indicadores ambientales, económicos y sociales, se evaluaron las posibilidades de medición de cada uno, y se determinaron las variables asociadas a estos para realizar las mediciones correspondientes.

5). Presentación e integración de resultados

Como quinto paso del ciclo de evaluación se realizó la integración de resultados obtenidos mediante el monitoreo de indicadores, tomando en cuenta valores de referencia para cada indicador. Esta fase representa la transición de una fase de diferenciación centrada en la recopilación de datos para los indicadores, a una etapa de síntesis de información que llevó a la emisión de juicios de valor sobre los sistemas de manejo analizados, para la agregación de indicadores se utilizaron técnicas de análisis multicriterio, y se examinaron las relaciones y efectos de retroalimentación tanto positivos como negativos entre indicadores, de tal forma que se permitiera examinar de manera transparente la multidimensionalidad de los sistemas en evaluación, así como detectar sinergias o relaciones de competencia entre los distintos atributos sistémicos (Masera *et al*., 2008).

6). Conclusiones y recomendaciones

Para cerrar el primer ciclo de evaluación fue necesario recapitular los resultados obtenidos en el análisis para emitir un juicio de valor sobre la comparación de los sistemas en términos de su nivel de sustentabilidad. En este punto se realizaron reflexiones sobre el propio proceso de evaluación y se plantearon recomendaciones como pauta para iniciar el nuevo ciclo de evaluación. Como parte de este proceso se presentó una serie de conclusiones sobre los sistemas de manejo analizados, donde se llevó a cabo una valoración de la sustentabilidad del sistema alternativo en comparación con el de referencia, asimismo, una discusión de los elementos que permiten o limitan a ambos sistemas mejorar su nivel de sustentabilidad.

En este punto, Masera *et al*. (2008) sugieren hacer un análisis sobre el propio proceso de evaluación, para detectar posibles fortalezas o debilidades en aspectos logísticos, técnicos y metodológicos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Paso 1: Determinación del objeto de estudio

En el inicio del ciclo de evaluación del marco metodológico MESMIS, la investigación se centró en estudiar los principales agroecosistemas presentes en la zona de estudio. Durante esta etapa, se observó una diversidad de cultivos en las parcelas de los campesinos, los cuales se caracterizan por practicar diferentes formas de manejo, como asociaciones de cultivos y monocultivos. Estas prácticas agrícolas tienen como objetivo principal la producción de alimentos y forraje para el autoconsumo en el medio rural.

Dentro de esta variedad de cultivos, se determinó que el agroecosistema maíz es de especial importancia debido a su relevancia en la alimentación humana. El maíz no solo constituye una base fundamental en la dieta de las comunidades rurales, sino que también desempeña un papel indirecto en la producción de carne, leche y huevo a través de su utilización como alimento para el ganado y las aves de corral. Con el fin de facilitar el análisis y la comparación, se establecieron dos categorías dentro del agroecosistema del maíz: el sistema de referencia, que se refiere al manejo de maíz en policultivo, y el sistema alternativo, que se refiere al manejo de maíz en monocultivo.

De esta manera, se delimitó el objeto de estudio, centrándose en la comprensión y evaluación del agroecosistema maíz y sus dos principales formas de manejo. Esto permitió realizar un análisis más detallado de los beneficios y posibles estrategias para mejorar la sustentabilidad de este agroecosistema en la zona de estudio. A continuación, se describen las dos formas de manejo de dicho agroecosistema:

1) Sistema milpa o policultivo (Sistema de manejo de referencia)

Agroecosistema presente en ambas comunidades, conformado principalmente por el componente agrícola: cultivo intercalado de maíz, principalmente nativo, frijol enredador y calabaza de castilla, así como un componente pecuario, el cual se da mediante la crianza de ganado ovino, bovino, porcino, y avícola, y en ocasiones también se integra un subsistema hortícola con la producción de hierbas de olor (cilantro, tomillo, epazote), verduras de hoja (espinaca, acelga, quelites, lechuga), y verduras de raíz como rábanos. Las actividades relacionadas a la siembra y preparación de la tierra se basan en el uso de la tracción animal

y la fuerza de trabajo familiar, predomina el deshierbe manual y el bajo o nulo uso de pesticidas. El aporte de nutrientes al suelo se da mediante la incorporación de residuos de cosecha, especialmente el rastrojo de maíz, el cual se pica en la parcela en su totalidad o una fracción después de realizar la cosecha; asimismo, se adiciona estiércol compostado antes de la preparación del suelo, el cual proviene del subsistema pecuario, las familias integrantes de este sistema de manejo llegan a recibir apoyos en especie del gobierno municipal como fertilizantes de origen sintético (urea y fertilizantes fosfatados y potásicos), de acuerdo a la disponibilidad en cada ciclo de cultivo. Los productos de dicho sistema son en su mayoría destinados al autoconsumo y en menor medida se procede a la venta de excedentes a nivel local. En promedio, la superficie sembrada bajo este sistema es de 3.5 ha por productor y el rendimiento promedio es de 1.4 t ha^{-1} de maíz, 0.3 t ha^{-1} de frijol, 0.2 t ha^{-1} de calabaza, y 0.5 t ha^{-1} de haba.

2) Monocultivo maíz (Sistema de manejo alternativo)

Agroecosistema que se desarrolla en el área de estudio, y se integra por un componente agrícola: maíz blanco y/o amarillo criollo. En actividades de preparación del suelo para la siembra se incluye el uso de tracción animal y maquinaria agrícola, ya sea rentada y en menor medida, propia. En la fertilización se utiliza estiércol en combinación con fertilizantes de origen sintético como urea y fosfato de amonio, el deshierbe se lleva a cabo mediante el uso de herbicidas como glifosato, pero también se realiza de forma manual, de igual forma destaca el aporte de fuerza de trabajo familiar. Al igual que en el sistema policultivo, los granos cosechados se destinan al autoconsumo y como complemento de la alimentación animal en el caso del subsistema pecuario antes descrito, también se realiza la venta de excedentes de la cosecha localmente. La superficie promedio cultivada por este sistema es de 3.2 ha por productor y el rendimiento promedio es de 1.2 t ha^{-1}.

Contexto social y ambiental

En los Humeros y en San Mateo se desarrolla una agricultura de temporal, el eje de la actividad agrícola en ambas comunidades es la producción de cultivos básicos como el maíz, del cual se cultivan maíces nativos adaptados a las condiciones de la zona, entre los que destacan: blanco, amarillo, azul, pinto, morado y rojo. El cultivo de maíz se lleva a cabo en monocultivo, o en sistemas de policultivo o sistema milpa, que puede ser intercalado con

frijol (*Phaseolus vulgaris*) o con haba (*Vicia faba*); por otro lado, el segundo cultivo de importancia alimenticia y económica es el cultivo de haba, comúnmente encontrado en sistema monocultivo.

Una de las principales limitantes en los Humeros son las bajas temperaturas, que no permiten un buen desarrollo del maíz y el frijol, por lo que los campesinos optan por la producción de forrajes, como la veza de invierno (*Vicia sativa*), avena forrajera (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*),, algunas especies de pastos perennes como el festuca (*Festuca arundinacea*) y Orchard (*Dactylis glomerata)*, trigo (*Triticum* spp.), alverjón (*Pisum sativum*), nopal (*Opuntia ficus-indica*) y maguey pulquero (*Agave salmiana*) este último, comúnmente utilizado para delimitar las parcelas (Cuadro 2) como reporta Jiménez (2005).

Cuadro 2. *Superficie por cultivo apoyada por el programa PROAGRO del ciclo de cultivo primavera-verano 2018 en el Ejido Chignautla*.

Cultivo	Superficie apoyada (ha)
Avena	291.56
Maíz	248.32
Haba	81.01
Cebada	80.56
Ebo (veza)	24.48
Plantaciones forestales	6.00
Trigo	4.00
Pastos Perennes	1.34
Alverjón	1.21
Ebo (veza) grano	0.75
Nopal (tuna)	0.50
Total	**739.73**

Fuente: Elaboración propia con datos del padrón de beneficiarios del programa PROAGRO.

En la comunidad de San Mateo es común encontrar árboles en el contorno de las parcelas como cercas vivas o linderos, dentro de algunas parcelas se aprovechan diversas especies de plantas y árboles, tal es el caso del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) conocido también como “shashana” el cual aprovecha distintas especies maderables y frutales como soporte ya que crece como enredadera, también se cultiva haba, además de forrajes como la avena (Cuadro 3).

La preparación de los terrenos agrícolas en ambas comunidades se realiza con tracción animal. En terrenos llanos, a veces se utiliza maquinaria agrícola de alquiler. Sin embargo,

debido a la limitación de recursos económicos de los campesinos, es difícil solventar los gastos de alquiler de maquinaria en la mayoría de los casos.

Cuadro 3. *Superficie por cultivo apoyada por el programa PROAGRO del ciclo de cultivo primavera-verano 2018 en San Mateo Chignautla.*

Cultivo	Superficie apoyada (ha)
Maíz	251.95
Avena	87.50
Haba	12.50
Total	**351.95**

Fuente: Elaboración propia con datos del padrón de beneficiarios de PROAGRO.

La producción en la zona se basa en unidades familiares donde todos los miembros contribuyen con mano de obra. Se distinguen dos subsistemas principales: subsistema agrícola, forestal y/o frutal y subsistema pecuario (Figura 4); en el subsistema agrícola se cultivan granos básicos para consumo humano y animal, forraje y semillas. La producción se destina principalmente al autoconsumo, asegurando así parte de la alimentación anual y la disponibilidad de semillas para futuras cosechas.

En el subsistema pecuario se crían ovinos (de las razas Columbia, Cara negra y Hampshire), cerdos criollos y en menor medida, ganado bovino. Estos animales proporcionan proteína para las familias y también generan ingresos económicos. En algunos casos, se venden los excedentes localmente, aunque no existen canales de comercialización organizados por la comunidad. Los habitantes también se dedican a otras actividades económicas como la albañilería, la maquila de textiles y la talabartería.

Aproximadamente la mitad de los campesinos en ambas comunidades se benefician del programa federal "Sembrando Vida". Estos campesinos están realizando una transición hacia sistemas productivos más diversificados, que incluyen una variedad de cultivos frutales como manzana, capulín, pera, durazno y tejocote, así como especies maderables como el pino. También están incorporando prácticas de fertilización orgánica, como la producción de abonos orgánicos (bocashi[1] y lombricomposta). En ambas comunidades se han establecido

[1] Bocashi es un término japonés que significa, abono orgánico fermentado, se emplea principalmente para incorporar al suelo materia orgánica y nutrientes esenciales como, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro; asimismo, estimular la vida microbiana del suelo y la nutrición de las plantas. Este tipo de abono varía en su composición química de acuerdo con cada proceso de elaboración, duración, actividad biológica y tipos de materiales empleados (Ramos-Agüero *et al.*, 2014).

biofábricas para la reproducción de lombriz roja californiana, con el objetivo de obtener humus sólido y líquido; Además, se brinda asesoramiento técnico para la implementación de obras de conservación del suelo, como las curvas a nivel y el establecimiento de maguey, con el fin de proteger el suelo contra la erosión.

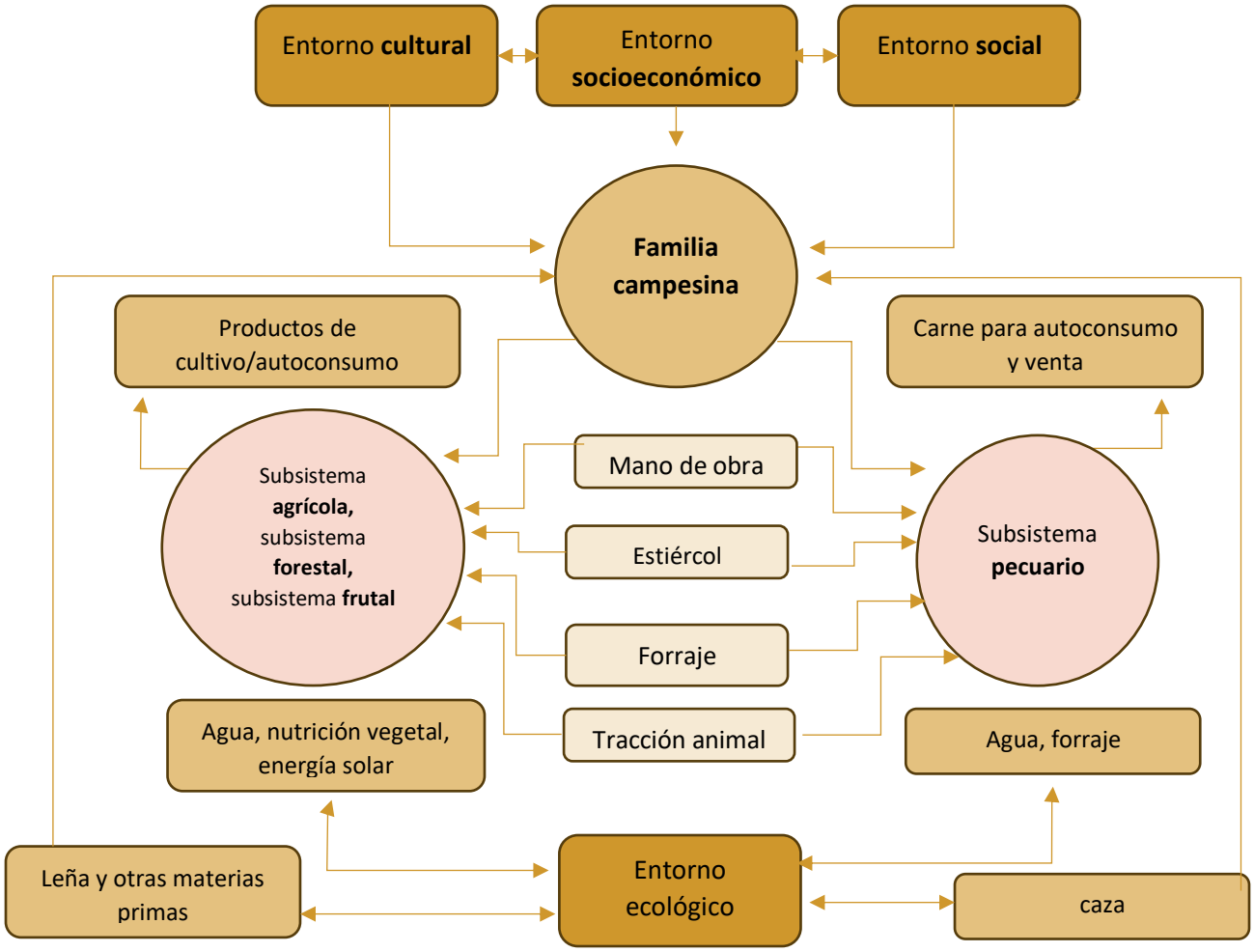

Figura 4. *Sistema de producción campesina en el municipio de Chignautla, Puebla*

Caracterización de los sistemas de manejo

El contexto biofísico, así como las características generales de los agroecosistemas se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. *Determinantes de los agroecosistemas en Los Humeros y San Mateo.*

Determinantes del agroecosistema			**Sistema de manejo de referencia (policultivo)**	**Sistema de manejo alternativo (monocultivo)**
Biofísicas	Clima		C(w): clima templado húmedo y subhúmedo de montaña, con temperatura media anual de 17.5 °C, con heladas (-3.3 °C) de octubre a marzo, temporada húmeda de mayo a octubre, y precipitación anual de 380-680 mm.	
	Geología		Sustrato geológico de origen volcánico del Mesozoico como calizas y lutitas del Jurásico Superior (INEGI, 1987).	
	Altitud		2400-2700 msnm (San Mateo), y 2700-2880 msnm (Los Humeros).	
	Suelos		Predominan Regosoles asociados a suelos Andosoles, conocidos por su origen volcánico, y Leptosoles (INEGI, 2007).	
	Vegetación		Bosques de pino, bosque de pino-encino con vegetación secundaria, matorral xerófilo y pastizal inducido.	
Tecnológicas y de manejo	Especies y variedades manejadas		Diferentes maíces criollos asociados con frijol enredador o haba, y calabaza.	Maíz: Amarillo y Blanco.
	Especies dominantes		Maíz en sistema milpa	Maíz en monocultivo
	Tracción	Labranza	Tracción animal	Renta de maquinaria agrícola y/o tracción animal para la preparación de suelos con siembra manual
		Labores culturales	Siembra manual	
	Manejo del suelo	Conservación	Si	Si
		Fertilización	Estiércol y fertilización química (DAP y urea)	Estiércol y fertilización química (DAP y urea)
	Manejo de plagas y enfermedades		No se realiza prevención o control	Uso de plaguicidas para control de rosquilla
	Manejo de arvenses		Deshierbe manual	Uso de faena (glifosato)
Socioeconómicas	Manejo pecuario		Aves, cerdos, ovinos y bovinos	Cerdos y ovinos
	Superficie total		4.2 ha	4.9 ha
	Objetivo principal de la producción		Autoconsumo con venta de excedentes	
	Tipo de mano de obra		Familiar y externa en tiempo de siembra y cosecha	
	Organización para la producción		No se reporta pertenencia a alguna organización productiva	No se reporta pertenencia a alguna organización productiva

Puesto que la evaluación de la sustentabilidad en los sistemas campesinos antes descritos implica una comparación de sistemas de manejo presentes en la misma zona, con características similares, que comparten la misma temporalidad, pero que presentan formas de manejo diferentes, se hace una comparación de tipo transversal y para llevar a cabo dicha comparación se contempla como punto de referencia el ciclo agrícola 2019-2020.

A continuación, se describen las características de ambos grupos de entrevistados en términos de escolaridad, actividad económica, tenencia de la tierra, fuentes de ingreso, composición de la familia, estado civil y edad.

Sistema de referencia o Sistema policultivo (SPo)

De los entrevistados pertenecientes al sistema de referencia conformado por 43 campesinos, el 91% pertenecen a la comunidad de San Mateo y solo el 9% son originarios de Los Humeros, en los hogares correspondientes al sistema de referencia, el 86% son encabezados por una figura masculina, y solo el 14% por una figura femenina (Figura 5).

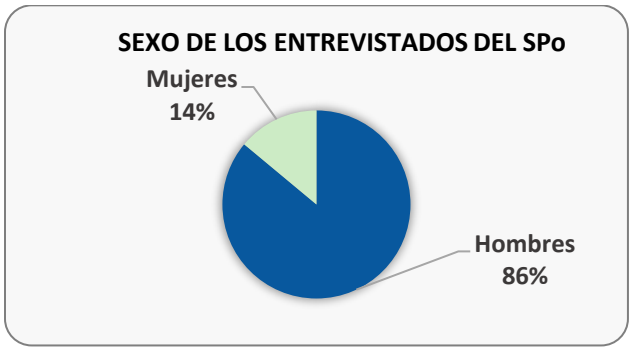

Figura 5. *Sexo de los entrevistados del Sistema policultivo*

La edad promedio de los entrevistados fue de 51 años, cifra que coincide con la edad promedio del subsector primario de la población en el sector rural, misma que oscila entre 42 y 56 años (FAO-SAGARPA, 2014). Asimismo, en la siguiente gráfica se puede observar que la mayoría de los entrevistados se encuentra entre los rangos de edad de 46 a 55 años y 56 a 65 años (Figura 6).

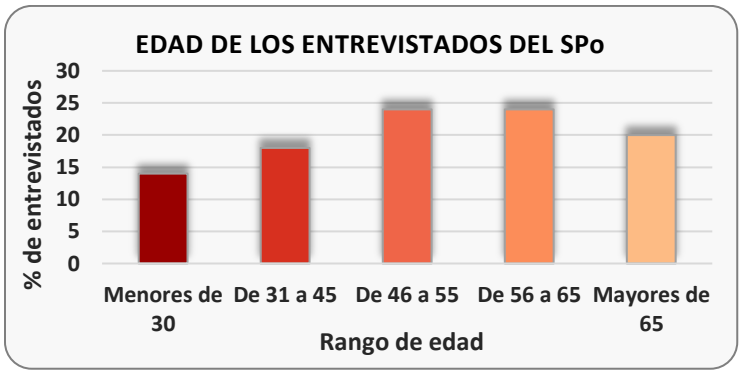

Figura 6. *Edad de los entrevistados del Sistema policultivo*

En cuanto al nivel de escolaridad el 23.3% refiere no haber tenido acceso a la educación básica, el 39.5% acudió entre 3 y 6 años a la primaria, el 18.6% mencionó haber recibido educación secundaria, el 4.7% asistió al bachillerato, 7.0% accedió a estudios técnicos y el 7.0% restante cursó licenciatura (Figura **7**).

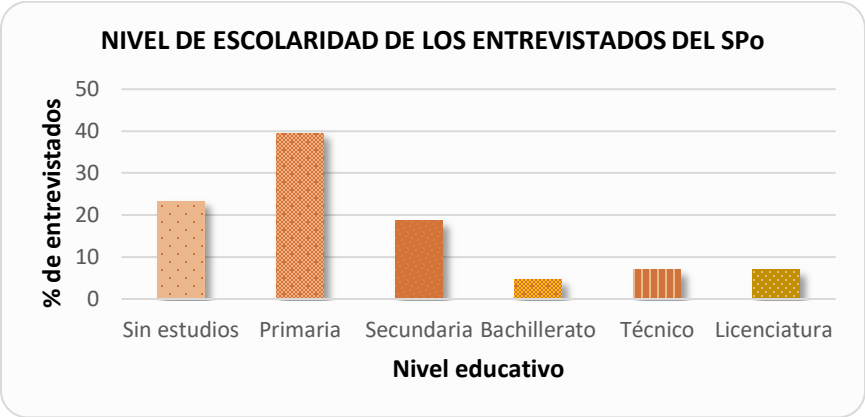

Figura 7. *Escolaridad de los entrevistados del Sistema policultivo*

De forma tradicional las zonas rurales se asocian con la agricultura, ganadería y la explotación de recursos naturales, en el caso del grupo que integra el Sistema policultivo las personas refieren dedicarse principalmente a actividades derivadas de la agricultura (Figura 8), ya sea por la comercialización de productos obtenidos en sus parcelas o al trabajar en parcelas ajenas durante las épocas de preparación de la tierra, siembra, labores culturales y cosecha, asimismo, la segunda actividad más importante para este grupo es la ganadería, la cual engloba la crianza de diversas especies como aves de corral (gallinas, patos, guajolotes), cerdos blancos y criollos, vacas y toros, conejos, borregos y chivos, entre otros. Después de la agricultura y ganadería se desarrollan otras actividades como la albañilería, sobre todo en aquellas temporadas en que las actividades agrícolas no son muy demandantes, asimismo un

porcentaje menor refiere trabajar en la industria maquiladora de textiles que se desarrolla en la región.

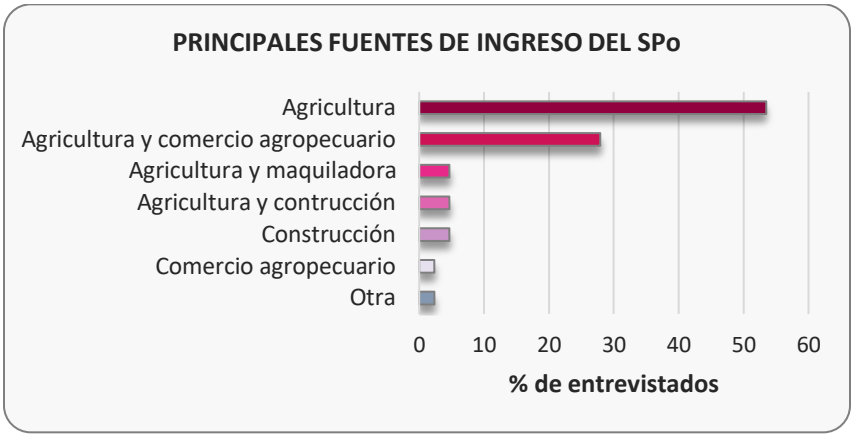

Figura 8. *Principales fuentes de ingreso del Sistema policultivo*

Castro (2012) describe a la familia como un ámbito humano donde se reflejan muchos de los cambios que ocurren en el mundo, ya que es donde se generan y transmite valores, tradiciones y manifestaciones culturales, a través del proceso conocido como socialización. Asimismo, sostiene que el mundo rural latinoamericano ha sufrido transformaciones a partir de procesos de modernización y globalización teniendo como ejemplo el aumento de la agricultura no tradicional, predominio de fuerza de trabajo asalariada temporal, y el rol residual de la agricultura campesina. La familia promedio que proporciona la encuesta para el caso del SPo es aquella que presenta entre 5 y 6 integrantes (Figura 9).

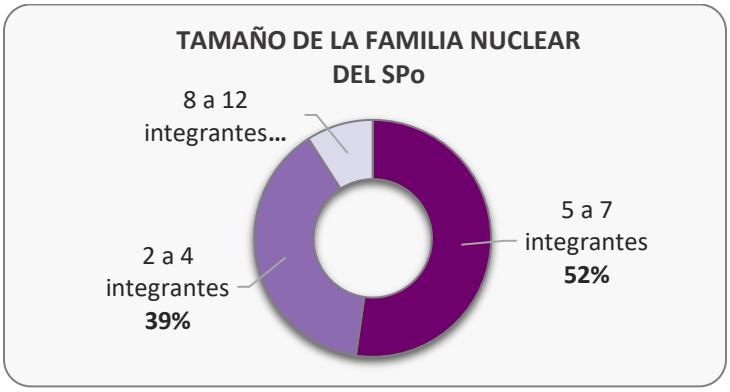

Figura 9. *Tamaño del núcleo familiar del sistema policultivo*

Un total de 92 jóvenes integrantes de las familias de este grupo desarrollan actividades agrícolas, de los cuales un 60% son hombres y un 40% mujeres (Figura 10).

Figura 10. *Hijos e hijas en las actividades del agroecosistema familiar*

Por cada hogar un 67% de los integrantes se dedican a actividades asociadas a la agricultura y la ganadería y el 33% restante a actividades como la maquila de textiles, la construcción, o se encuentran estudiando (Figura 11).

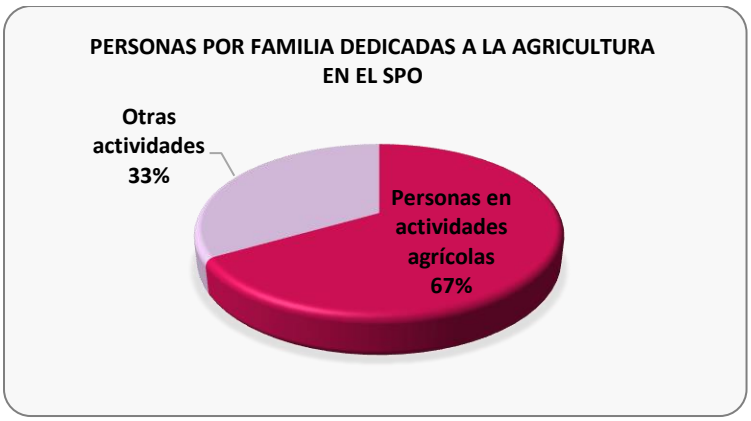

Figura 11. *Proporción de familiares dedicados a las actividades del agroecosistema*

Por otro lado, la estructura de la tenencia de la tierra es uno de los factores de producción en la agricultura, además es parte importante de estructuras sociales, políticas y económicas, como se observa en la Figura 12, el régimen de tenencia de la tierra predominante en el grupo del sistema policultivo es comunal, seguido por el régimen ejidal. La superficie promedio que poseen los entrevistados es de 4.2 ha y oscila en un rango entre 1 y 10 ha. Cerca del 55% de los entrevistados poseen entre 1 y 3 ha y solo el 20% posee más de 5 ha, Morett-Sánchez y Cosio-Ruíz (2017) señalan que a causa de un intenso programa de regularización y titulación de la propiedad de la tierra (Procede), la superficie de propiedad social aumentó en 40% su número de propietarios por lo cual, el promedio de superficie por propietario

disminuyó profundizándose aún más la atomización de la propiedad social lo que supone riesgos de sobreexplotación de la tierra y los recursos naturales.

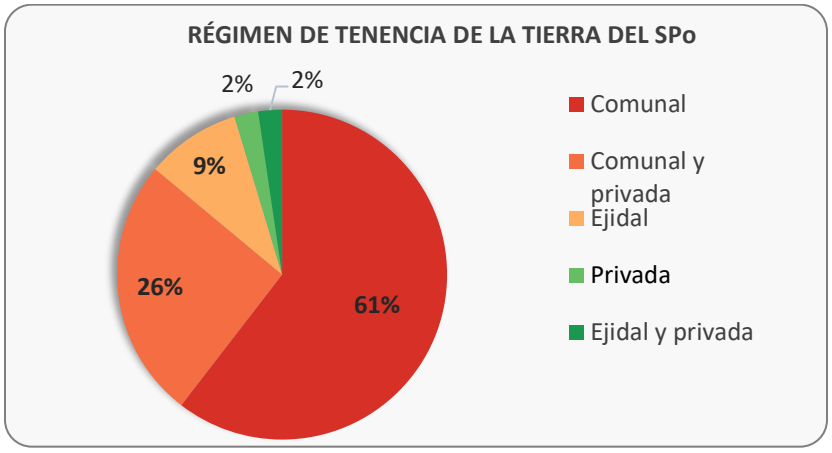

Figura 12. *Principales formas de tenencia de la tierra en el sistema policultivo*

Sistema alternativo o Sistema monocultivo (SMo)

A continuación, se describen las características del grupo de entrevistados correspondiente al Sistema monocultivo de maíz (SMo).

El 68% de los entrevistados que conforman el grupo del SMo son provenientes de la comunidad de San Mateo y el 32% de Los Humeros. El 82% de los entrevistados pertenecen al sexo masculino y el 18% al sexo femenino (Figura 13).

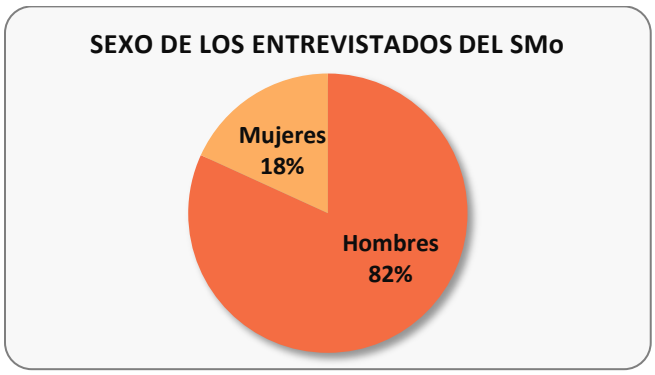

Figura 13. *Sexo de los entrevistados*

La edad promedio de los entrevistados en el grupo del sistema alternativo o SMo, es de 54 años, cerca de la tercera parte de los entrevistados se ubican en un rango de 46 a 55 años (Figura 14).

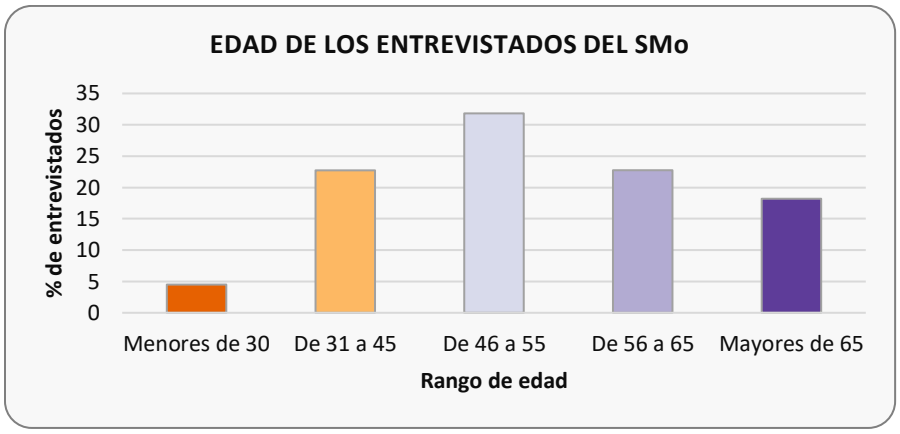

Figura 14. *Edad de los entrevistados del SMo*

Ordaz-Díaz (2009) menciona que los niveles de escolaridad del medio rural por lo general son más bajos que en el medio urbano, y en este rubro se encontró que la mayoría de los entrevistados (45.5%) cuenta solo con educación primaria (Figura 15), ésta no necesariamente concluida, mientras que un 13.6% menciona no haber tenido acceso a algún nivel educativo básico, lo cual concuerda con la información reportada por el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación para zonas rurales cuya proporción de analfabetismo es de 13.2% en contraste con el porcentaje de analfabetas que vive en zonas urbanas (3.1%), (INEE, 2016). Por otro lado, 27.3% refieren haber accedido a la educación secundaria, 9.1% acudió al bachillerato y 4.6% obtuvo un nivel de educación técnica, esto contrasta con lo reportado en el II Conteo de población y vivienda (2005) donde se menciona que el 72.2% de la población rural no tiene instrucción o solo ha alcanzado la primaria como único nivel educativo, la cifra de personas sin instrucción ha disminuido.

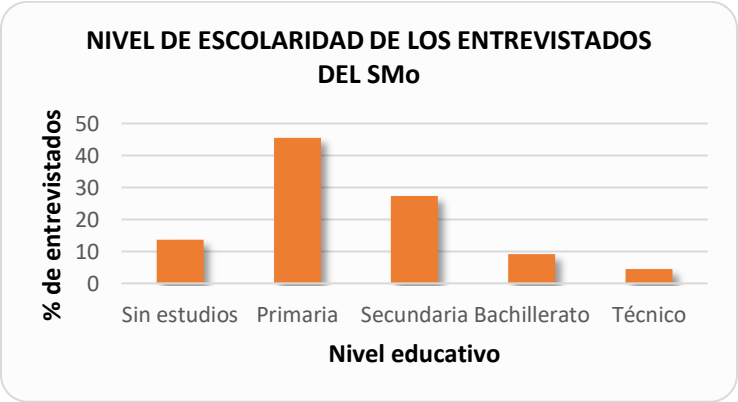

Figura 15. *Escolaridad de los entrevistados del SMo*

Los entrevistados del grupo del sistema monocultivo incluyen entre sus principales actividades económicas aquellas relacionadas a la agricultura y ganadería, mayormente de autoconsumo, puesto que solo un 4% de los entrevistados refirió el comercio agropecuario como su principal fuente de ingresos (Figura 16).

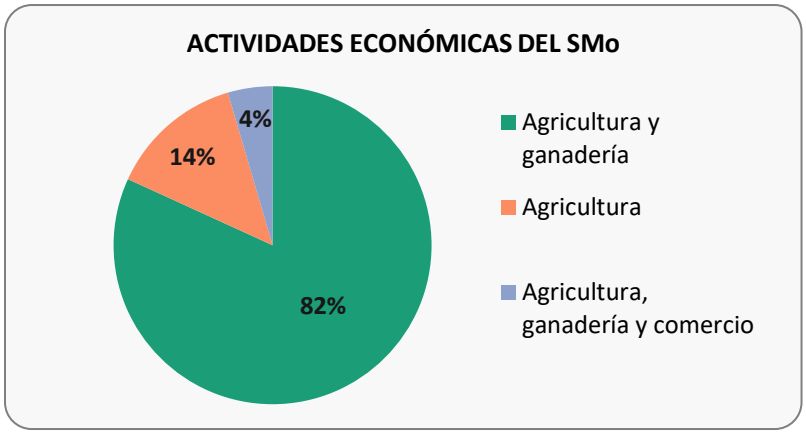

Figura 16. *Principales actividades económicas del SMo*

El tamaño promedio del hogar en el grupo del Sistema alternativo, al igual que el del grupo del sistema de referencia consta de entre 5 y 6 personas. En el caso de las familias más numerosas, estas se conforman de hasta diez personas (Figura 17).

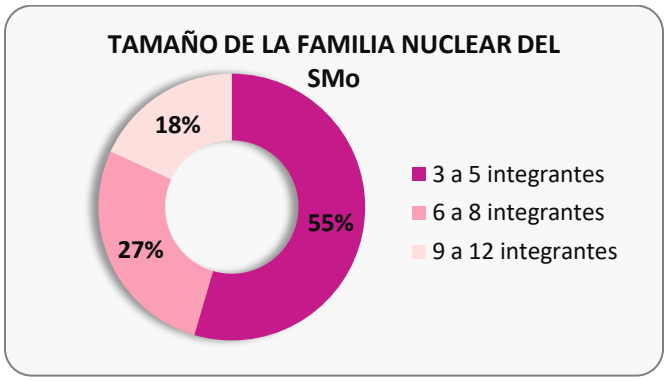

Figura 17. *Tamaño de la familia nuclear de los entrevistados del SMo*

En este grupo existe un total de 38 jóvenes que se integran a las actividades del agroecosistema de los cuales el 70% son hombres y el 30% mujeres (Figura 18).

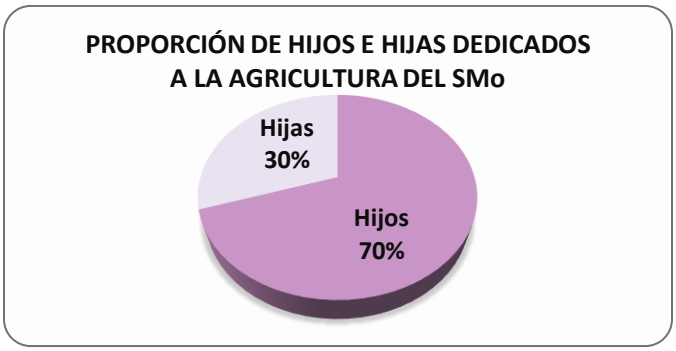

Figura 18. *Proporción de hijos e hijas dedicados a la agricultura en el SMo*

En general la mayoría de los miembros de cada hogar se dedica a las actividades del agroecosistema, ya sea en la parte agrícola o ganadera (60%), y el resto desarrolla otras actividades como el comercio y la albañilería (Figura 19).

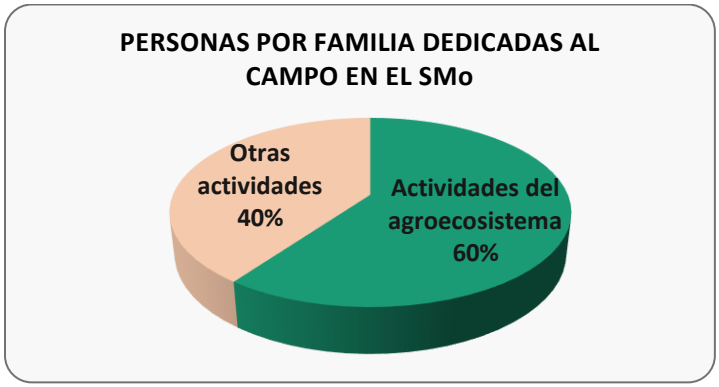

Figura 19. *Personas del núcleo familiar dedicadas a la agricultura*

En cuanto al régimen de tenencia de la tierra, predomina el régimen comunal, seguido del ejidal. De tal forma que la superficie promedio de los propietarios es de 4.9 ha, la cual oscila entre 1 y 14.5 ha, sin embargo, sólo un 14% posee más de 10 ha (Figura 20).

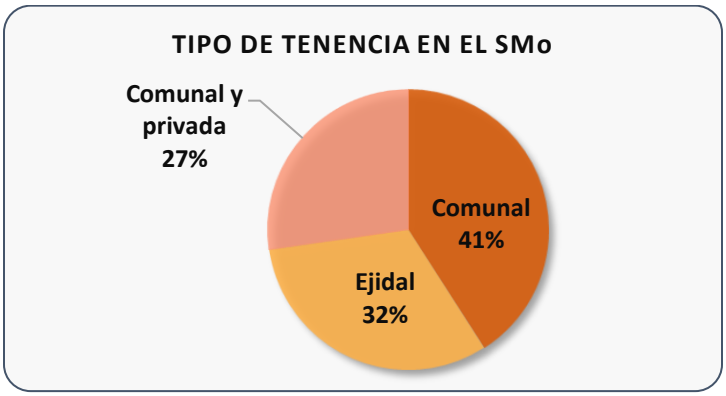

Figura 20. *Régimen de tenencia de la tierra en el SMo*

6.2. Paso 2: Identificación de los puntos críticos del sistema

Los puntos críticos detectados a través de las entrevistas realizadas a informantes clave se detallan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. *Puntos críticos como temas de investigación*

Atributos	Puntos críticos
Productividad	Baja productividad agrícola y baja rentabilidad
	Aporte de mano de obra familiar en el proceso de producción
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Bajo nivel de conservación del suelo (riesgo de erosión)
	Tendencia al monocultivo (pérdida de agrobiodiversidad)
Adaptabilidad (flexibilidad)	Bajo nivel de innovación
	Pérdida de conocimiento tradicional
Equidad	Baja participación de las nuevas generaciones en las actividades del agroecosistema
Autodependencia (Autogestión)	Alta dependencia de apoyos gubernamentales para la producción y bajos recursos económicos disponibles

6.3. Paso 3: Selección de indicadores estratégicos

En este paso se identificaron los indicadores necesarios para evaluar el nivel de sustentabilidad de los sistemas de manejo, estableciendo un conjunto de catorce indicadores en total, cuatro ambientales, cinco económicos, y cinco sociales (Cuadro 6):

Cuadro 6. *Puntos críticos, criterios de diagnóstico e indicadores propuestos para la evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas campesinos en las dos comunidades.*

Atributo	Puntos críticos como temas de investigación	Criterio de diagnóstico	Indicador	Área[2]	Método de recolección de datos	Fórmula
Productividad	Baja productividad agrícola y baja rentabilidad	Eficiencia energética y económica	1. Rendimiento por sistema de manejo (t ha^{-1})	E	Encuesta, entrevista	Rdto= t ha^{-1} de maíz cosechado + t ha^{-1} cultivos asociados
			2. Cantidad de grano y zacate cosechado (t ha^{-1})	E	Encuesta, entrevista	CGZ= maíz + zacate cosechado en t ha^{-1} CGZ= Cantidad de grano y zacate cosechados

[2] A=ambiental, E=económico, S=social.

			3. % de familias que disponen de una actividad ganadera	E	Encuesta, entrevista	% FG=(FG/TF) *100 FG=Familias con ganado TF= Total de familias entrevistadas
			4. Ingresos por venta de animales por sistema de manejo ($) por año	E	Encuesta, entrevista	IVA=No de cabezas * Precio por cabeza IVA= Ingreso por venta de animales
			5. Relación B/C (Beneficio/Costo) por ha	E	Encuesta, entrevista	R=B/C R= Relación beneficio costo B= Ingresos derivados de la cosecha C= Costos de producción de cultivos
			6. Uso equivalente de la tierra (UET) (UET >1)	A	Encuesta	UET= Ma/Sa + Mb/Sb Ma y Mb= rendimiento de los cultivos en policultivo Sa y Sb= rendimiento de los cultivos en monocultivo
	Aporte de mano de obra familiar en el proceso de producción	Conservación del empleo	7. Proporción de empleos permanentes por familia (%)	S	Encuesta	% de mano de obra familiar= (NIF /NTJ) *100 NIF= Número de Integrantes de la familia que participan como jornales en el sistema NTJ= Número total de jornales empleados en el sistema
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Bajo nivel de conservación del suelo	Conservación de recursos naturales	8. Índice de prácticas Agroecológicas (0-1)	A	Encuesta, observación directa y entrevista	IPA=NPA/NPT NPA= Número de prácticas agroecológicas NPT= Número de prácticas totales
			9. Propiedades fisico-químicas del suelo	A	Muestreo en campo	1. Textura (% de arena, limo y arcilla) 2. Balance NPK 3. pH 4. Conductividad eléctrica (mmho/cm) 5. Densidad aparente (g/cm^3)

	Tendencia al monocultivo	Diversidad ecológica	10. IDA: Índice de agrobiodiversidad (0-1)	A	Encuesta, observación directa	IDA= (S_1IFER + S_2IFE + S_3 IAVA + S_4 ICOM)/4 IFER= Biodiversidad para la alimentación humana IFE= Biodiversidad para la alimentación animal IAVA= Biodiversidad para la alimentación del suelo ICOM= Biodiversidad complementaria
Adaptabilidad (flexibilidad)	Bajo nivel de innovación	Capacidad de cambios e innovación	11. Índice de adopción de nuevas técnicas (apropiación de innovaciones tecnológicas) (0-1)	S	Encuesta, entrevista	IANT=No. de prácticas nuevas/ No. de prácticas totales
	Pérdida de conocimiento tradicional	Uso de técnicas ancestrales	12. Índice de técnicas ancestrales en uso (0-1)	S	Encuesta, entrevista	ITA=No. de técnicas ancestrales aplicadas/No de prácticas totales ITA= Índice de técnicas ancestrales
Equidad	Baja participación de las nuevas generaciones en las decisiones de la comunidad	Equidad inter-generacional	13. Relevo intergeneracional: Participación de integrantes más jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema. (0-1)	S	Encuesta	RI=No. de hijos que participan en actividades del agroecosistema/No total de hijos RI=Relevo intergeneracional
Autodependencia (Autogestión)	Alta dependencia de apoyos del gobierno para la producción y bajos recursos económicos disponibles	Dependencia de recursos externos	14. Dependencia de insumos externos (0-1)	S	Encuesta	DIE=Cantidad de insumos agrícolas comprados/Cantidad total de insumos utilizados

Descripción de los indicadores de sustentabilidad

Indicador 1: Rendimiento por sistema de manejo

Con el fin de conocer el rendimiento de cada uno de los sistemas de manejo se generó información a través de la encuesta, de esta forma se obtuvieron datos correspondientes a los productos cosechados por hectárea por cada entrevistado, es decir, la suma del grano de maíz,

y los cultivos asociados, tales como frijol, calabaza y haba (según el tipo de asociación), posteriormente se calculó el rendimiento medio por sistema de manejo. Para generar dicha información se incluyeron preguntas como el total de maíz desgranado que obtuvo el productor durante el ciclo 2019-2020, por lo que se consideró la siguiente fórmula:

$$Rendimiento = Ton\ de\ maíz\ (grano) ha^{-1} + cultivos\ asociados\ ha^{-1}$$

Indicador 2: Cantidad de grano y zacate cosechados (CGZ)

Para generar la información correspondiente a este indicador se recurrió a la encuesta, se incluyeron preguntas sobre la biomasa seca cultivada, es decir, la producción tanto de grano como de rastrojo o zacate. Posteriormente se calculó la media del grano + zacate por sistema de manejo.

$$CGZ = Rendimiento\ de\ maíz + Rendimiento\ de\ zacate$$

Dónde:

CGZ= Cantidad de grano y zacate cosechados ha^{-1}

Indicador 3: Porcentaje de familias que disponen de una actividad ganadera (FG)

Para obtener la información referente a este indicador se recurrió a la encuesta, de tal forma que se incluyó en el cuestionario una serie de preguntas sobre la actividad ganadera de los campesinos, el tipo de ganado que manejan en su agroecosistema y el total de individuos de cada especie. Para calcular el porcentaje se dividió el total de familias que refieren desarrollar algún tipo de crianza de ganado entre el total de familias entrevistadas por cada sistema de manejo, y multiplicando dicho factor por cien, como se muestra a continuación:

$$\%\ FG = \frac{FG}{TF} * 100$$

Dónde:

FG=Familias con actividad ganadera

TF= Total de familias entrevistadas

Indicador 4: Ingresos por venta de animales por sistema de manejo (IVASM)

De forma similar al indicador 3, se incluyeron cuestionamientos sobre las especies animales manejadas en el agroecosistema (ovinos, bovinos, equinos, porcinos), en especial de aquellas que reportan un beneficio económico a la familia campesina derivado de su comercialización ya sea en pie o en canal dentro de la región o de su misma comunidad, tomando como referencia el ciclo 2019-2020. De lo cual se desprende la siguiente fórmula:

$$IVASM = No\ de\ cabezas\ vendidas\ por\ año * precio\ por\ cabeza$$

Dónde:

IVASM= Ingreso por venta de animales

Indicador 5: Relación Beneficio/Costo (B/C)

Se consideraron los costos de la tecnología de producción, y los ingresos generados por los cultivos de los sistemas de manejo por hectárea, tomando en cuenta: servicios (adición de estiércol al suelo, preparación del suelo, labores culturales, cosecha, desgranado, manejo del rastrojo); insumos (semillas, fertilizantes de origen sintético y naturales, insecticidas, fungicidas, herbicidas); y jornales (familiares y contratados).

$$R = \frac{B}{C}$$

Dónde:

B= Beneficio

C=Costo

Indicador 6: Uso equivalente de la tierra (UET)

En cultivos intercalados el UET es utilizado con frecuencia para medir la eficiencia de una asociación de cultivos. El UET es el área relativa de tierra requerida bajo monocultivo para obtener la misma producción con una asociación bajo niveles similares de manejo.

Para evaluar este indicador se recurrió a la siguiente fórmula (Mead y Willey, 1980):

$$UET = La + Lb = \frac{Ma}{Sa} + \frac{Mb}{Sb}$$

Dónde:

La y Lb = rendimiento relativo para los cultivos individuales

Ma y Mb= rendimiento de los cultivos en policultivo

Sa y Sb= rendimiento de los cultivos en monocultivo

Indicador 7: Proporción de empleos permanentes por familia (PEPF)

Para estimar el número de empleos permanentes por familia por sistema de manejo, se desglosaron todas las actividades del ciclo agrícola y se contabilizó el número de jornales por cada una de estas actividades, posteriormente se dividió entre el número de jornales provenientes del mismo núcleo familiar.

$$\%\, de\ mano\ de\ obra\ familiar = \frac{NIF}{NTJ} x\ 100$$

Dónde:

NIF= Número de Integrantes de la familia que participan como jornales en el sistema

NTJ= Número total de jornales empleados en el sistema

Indicador 8: Índice de prácticas agroecológicas (IPA)

Para generar la información sobre este indicador se recurrió a la entrevista y a la encuesta, preguntando a los campesinos cuántas y cuáles prácticas de conservación implementan, de tal forma que se consideraron las prácticas que se realizan en los agroecosistemas que coadyuvan a la sustentabilidad, incluyendo aquellas que ayudan a retener la humedad en los suelos, así como a incrementar la vida de los microorganismos benéficos, reducir el impacto de factores como la lluvia o el viento, y por consecuencia reducir los niveles de erosión (Moreno-Hernández *et al.*, 2011).

Una vez aplicada la entrevista se obtuvo una lista de diez prácticas: 1) cultivo intercalado (policultivo); 2) incorporación de materia orgánica; 3) trazo de surcos en curvas a nivel; 4) picado de rastrojo en parcela; 5) deshierbes manuales; 6) construcción de zanjas bordo, presas, terrazas; 7) rotación de cultivos; 8) descanso de tierras; 9) mínima aplicación de herbicidas y plaguicidas; y 10) movimiento mínimo del suelo.

$$IPA = \frac{NPA}{NPT}$$

Dónde:

NPA=Número de prácticas agroecológicas incorporadas en el agroecosistema
NPT=Prácticas agroecológicas identificadas (10 prácticas)

Indicador 9: Propiedades fisicoquímicas del suelo (PFQS)

Entre las propiedades fisicoquímicas que se analizaron en el suelo de los dos sistemas de manejo se encuentran: Punto saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente (PMP,) densidad aparente, conductividad eléctrica, pH, porcentaje de bicarbonatos, porcentaje de materia orgánica, nitratos, fósforo, potasio, calcio, magnesio, relación de absorción de sodio (RAS), y capacidad de intercambio catiónico.

Indicador 10: Índice de agrobiodiversidad (IDA)

Para la generación de información de este indicador se recurrió a la encuesta, donde se solicitó a los campesinos brindar datos sobre las especies vegetales y animales de los cuales tienen conocimiento de que están presentes en su sistema.

Para la construcción de este índice se tomó como base la propuesta metodológica de Leyva y Lores (2012), en la que se distinguen cuatro principales tipos de biodiversidad con sus funciones correspondientes: para la alimentación humana (FER), para la alimentación animal (FE), para la alimentación del suelo (AVA), y, por último, especies no alimenticias (COM) de utilidad para los humanos y para el agroecosistema. La expresión matemática del IDA es la siguiente:

$$IDA = \frac{\sum_{1}^{S_t} Vi}{S_t(Vi\,.\max)}$$

Donde:

Vi = valor máximo de importancia de cada grupo de especie.
Vi.max = valor de importancia máxima de cada grupo de especie en la escala de valores (asumiendo el cero como valor mínimo y el valor tres como valor máximo).

S_t = número total de grupos de especies.

El índice de agrobiodiversidad se compone a su vez de cuatro grupos constituidos por un número específico de componentes (grupos de especies), a partir de esto Leyva y Lores (2012) establecen un índice específico para cada grupo de especies (IEG), el cual analiza de forma individual cada grupo, de modo que el IDA integra todos los IEG.

$$IDA = \frac{\sum_1^n S_e(IEG)}{S_t}$$

Que es similar a la siguiente:

$$IDA = \frac{S_1 IFER + S_2 IFE + S_3 IAVA + S_4 ICOM}{S_t}$$

Los índices específicos quedan del siguiente modo:

1. $IFER = \frac{Vi(I)+Vi(II)+Vi(III)+Vi(IV)+Vi(V)+Vi(VI)}{18}$
2. $IFE = \frac{Vi(VII)+Vi(VIII)}{6}$
3. $IAVA = \frac{Vi(IX)+Vi(X)}{6}$
4. $ICOM = \frac{Vi(XI)+Vi(XII)+Vi(IXII)+Vi(XIV)}{12}$

Entonces: $IDA = \frac{IFER+ IFE+ IAVA+ICOM}{4}$

Indicador 11: Índice de adopción de nuevas técnicas (IANT)

La adopción de nuevas técnicas por parte del campesino apunta a evaluar la apropiación o internalización de tecnologías como resultado de talleres o capacitaciones recibidas (Peredo y Barrera, 2019). Para construir este indicador se consideró lo siguiente:

$$IANT = \frac{Número\ de\ prácticas\ nuevas}{Número\ de\ prácticas\ totales}$$

Dónde:

IANT=Índice de adopción de nuevas técnicas

Indicador 12: Índice de técnicas ancestrales en uso (ITA)

La agricultura campesina se sustenta en procesos culturales a diversas escalas, preserva tradiciones y conocimientos tanto en la producción de alimentos como en lo que respecta a prácticas ecológicas respetuosas con el medio ambiente (Loyola, 2016).

Loyola (2016) establece que a pesar de la influencia de la agricultura convencional aún se practican técnicas agrícolas ancestrales con incidencia de conocimiento tradicional. Para este indicador se tomó en cuenta lo siguiente:

$$ITA = \frac{Número\ de\ técnicas\ ancestrales\ aplicadas}{Número\ de\ prácticas\ totales}$$

Dónde:

ITA= Índice de técnicas ancestrales

Indicador 13: Índice de relevo intergeneracional: Participación de integrantes más jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema (RI)

A través de este indicador se buscó conocer el nivel de participación de los integrantes más jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema.

$$RI = \frac{No.\ de\ hijos\ \ que\ participan\ en\ actividades\ del\ agroecosistema}{No.\ total\ de\ hijos}$$

Dónde:

RI=Relevo intergeneracional

Indicador 14: Dependencia de insumos externos (DIE)

Para construir este indicador se enlistaron los insumos presentes en los dos sistemas de manejo en el proceso productivo, incluyendo: fertilizantes, plaguicidas, fungicidas y herbicidas, semillas, etc.

$$DIE = \frac{Insumos\ agrícolas\ comprados}{Insumos\ agrícolas\ utilizados}$$

6.4. Paso 4: Medición y monitoreo de indicadores de sustentabilidad

A continuación, se describen los resultados del cuarto paso en el ciclo de evaluación del MESMIS, los cuales se abordan de acuerdo con los atributos de sustentabilidad de los agroecosistemas mencionados anteriormente.

6.4.1. Atributo Productividad

En este atributo se agrupan la dimensión ecológico-energética que se asocia a la manera en cómo se maneja el agroecosistema en el proceso de producción, y por otro lado, la fuerza de trabajo (eficiencia del trabajo humano).

En este sentido, se detallan a continuación los resultados de los indicadores propuestos para este atributo, en el siguiente orden: 1) Rendimiento del maíz; 2) Cantidad de grano y zacate cosechado; 3) Porcentaje de familias que disponen de una actividad ganadera; 4) Ingresos anuales por venta de animales; 5) Relación Beneficio-Costo; 6) Uso equivalente de la tierra; y 7) Proporción de empleos permanentes por familia.

6.4.1.1. Indicador 1: Rendimiento por sistema de cultivo

Entre las variables básicas para analizar la actividad agrícola están: la producción y el comportamiento de las productividades de los factores (tierra y trabajo). En la práctica, la Agroecología prioriza los rendimientos sostenidos a largo plazo a través de mejoras en la eficiencia de los sistemas de producción, basadas en el incremento de interacciones entre componentes bióticos y abióticos. El rendimiento se define como la relación de la producción total de un cultivo determinado cosechada por unidad de superficie. Para evaluar este indicador se consideró el maíz en grano cosechado por hectárea, además de los rendimientos de los cultivos asociados en cada unidad de producción (frijol, calabaza, haba) reportados por los encuestados de ambos sistemas de manejo.

En el SPo se observa, un valor mínimo de 0.5 y un máximo de 3.4 t ha^{-1}, con un promedio del rendimiento a nivel de sistema de 1.8 t ha^{-1}, considerando la producción tanto de maíz como de los cultivos asociados al policultivo. Por otro lado, en el SMo se observó, un rendimiento mínimo de 0.8 y un máximo de 1.7 t ha^{-1}. El rendimiento promedio a nivel de sistema fue de 1.2 t ha^{-1}, es decir, 0.6 t ha^{-1} menos que el SPo.

El comportamiento de los datos correspondientes a ambos grupos se puede visualizar en el diagrama de caja que se presenta en la Figura 21, en el que de manera general se observa mayor variabilidad dentro del grupo del SPo.

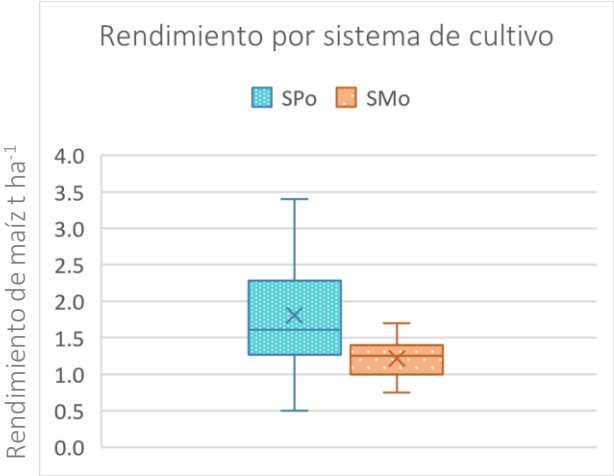

Figura 21. *Rendimiento por sistema de cultivo del SPo y SMo*

A continuación, se muestran las tablas de distribución de frecuencias para los dos grupos comparados, en el Cuadro 7, se muestra la información del SPo, en donde se puede observar que el 60 % de los campesinos cosechan menos de 2 t ha^{-1}, de tal forma que el 24 % cosecha entre 1 y 1.5 t ha^{1}, el 26 % entre 1.5 y 2 t ha^{-1}, asimismo se observa que solo un 10 % de los encuestados de este grupo cosecha menos de 1 t ha^{-1}, mientras que solo el 15 % obtiene rendimientos entre 2.5 y 3.5 t ha^{-1}.

Cuadro 7. *Distribución de frecuencias del rendimiento a nivel de sistema en el SPo*

Rendimiento t ha^{-1}	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[0.5-1.0)	4	0.10	4	0.10
[1.0-1.5)	10	0.24	14	0.33
[1.5-2.0)	12	0.28	26	0.60
[2.0-2.5)	11	0.26	37	0.86
[2.5-3.0)	2	0.05	39	0.90
[3.0-3.5)	4	0.10	43	1.00
Total	43.00	1.00		

En el caso del grupo que integra el SMo, se puede observar en el Cuadro 8 que el 76 % cosecha menos de 1.5 t ha^{-1}, los rendimientos del 62 % se concentran entre 1 y 1.5 t ha^{-1}, el

24 % al igual que en el Sistema policultivo, cosecha entre 1.5 y 2.0 t ha^{-1}, mientras que el 14 % cosecha menos de 1 t ha^{-1}.

Cuadro 8. *Distribución de frecuencias del rendimiento a nivel de sistema en el SMo*

Rendimiento t ha^{-1}	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[0.5-1.0)	3	0.14	3	0.14
[1.0-1.5)	14	0.63	17	0.77
[1.5-2.0)	5	0.23	22	1.00
Total	22.00	1.00		

6.4.1.2. Indicador 2: Cantidad de grano y zacate cosechados (CGZ)

La producción campesina se caracteriza por una eficiencia productiva y ecológica, por lo que este indicador del ámbito económico nos da la pauta para conocer y resaltar la importancia de la rentabilidad de los procesos productivos sustentables (Peredo y Barrera, 2019).

En los agroecosistemas con crianza ganadera existen dos características importantes de destacar, que son, la combinación y, la interdependencia de la producción de cultivos con la crianza de ganado, lo cual a su vez diversifica la fuente de ingresos y alimentos del productor, favoreciendo al mismo tiempo la reutilización de recursos, tal es el caso del rastrojo, cuyo uso es determinado por las preferencias y las decisiones del productor (Caballero-Salinas *et al*., 2017), a nivel nacional, el rastrojo es una fuente importante de forraje en la temporada seca. En la zona de estudio el manejo del rastrojo incluye el retirarlo de la parcela y almacenarlo para la alimentación de los animales a lo largo del año, y en contados casos el picarlo en la misma parcela como una forma de retornar nutrientes al suelo como se detalla en el apartado del Indicador 8: Índice de prácticas agroecológicas.

Para medir este indicador, en el instrumento de la encuesta se incluyó una serie de preguntas relacionadas a la cantidad de zacate que se empacó o se manojeó para el ciclo del cultivo evaluado, el número de pacas/manojos se multiplicó por el peso reportado de cada paca o manojo respectivamente, finalmente se sumó el peso de zacate cosechado más el peso del grano de maíz, generando de esta forma el dato de la biomasa seca cultivada por hectárea para cada sistema de manejo.

Para el caso del SPo el valor mínimo reportado para el rendimiento de grano y zacate fue de 1.6 t ha^{-1}, y el máximo de 8.1 t ha^{-1}, con un valor promedio de 3.80 t ha^{-1}. En el SMo el rango de observaciones reportado fue de 1.5 a 3.5 t ha^{-1}, con una media de 2.7 t ha^{-1}. Se observó un comportamiento similar de los datos, en los dos grupos de comparación en el primer cuartil de las observaciones (Figura 22), con una diferencia de aproximadamente 0.2 t ha^{-1}, donde, el SMo presentó un valor de 2.3 t ha^{-1}, mientras que el SPo obtuvo 2.5 t ha^{-1}. En el segundo cuartil el SMo tuvo un valor de 2.8 t ha^{-1} y el SPo 3.5 t ha^{-1}, por lo que la diferencia en dicho cuartil es de 0.7 t ha^{-1}, y, por último, en el tercer cuartil el SMo obtuvo 3.0 t ha^{-1} y el SPo un valor de 4.9 t ha^{-1}, con una diferencia de 1.9 t ha^{-1}.

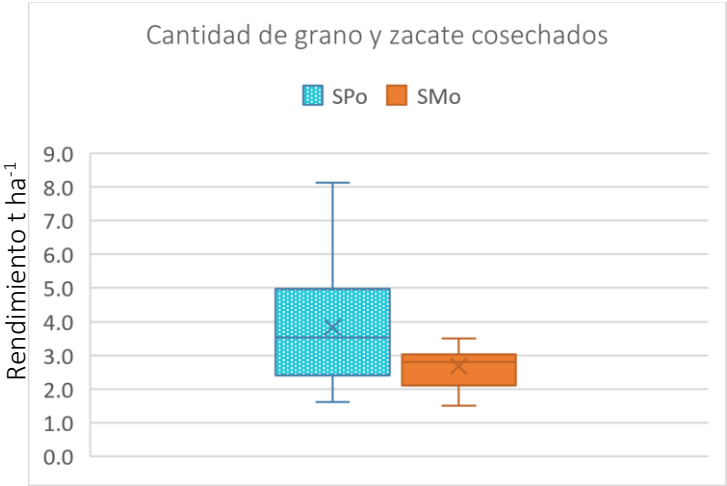

Figura 22. *Cantidad de grano y zacate en el SPo y SMo*

A continuación, se muestra la tabla de distribución de frecuencias correspondiente a cada SMRN, en primer lugar, se tiene la distribución de frecuencias del rendimiento de grano y zacate del SPo (Cuadro *9*).

Cuadro 9. *Distribución de frecuencias del rendimiento de grano+ zacate (SPo)*

Rendimiento de grano + zacate de maíz t ha^{-1}	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[1.0 - 2.5)	17.0	0.39	17.0	0.39
[2.5 - 4.0)	11.0	0.26	28.0	0.65
[4.0 - 5.5)	8.0	0.19	36.0	0.84
[5.5 - 7.0)	3.0	0.07	39.0	0.91
[7.0 - 8.5)	4.0	0.09	43.0	1.0
Total	43.0	1.0		

Como se visualiza en dicha tabla de frecuencias, el 40 % de los entrevistados del SPo obtiene un rendimiento de grano y zacate entre 1.0 y 2.5 t ha^{-1}, seguido del 24 % de entrevistados quienes reportan haber obtenido entre 2.5 y 4.0 t ha^{-1}, el 19 % reporta un rendimiento entre 4.0 y 5.5 t ha^{-1}, mientras que un porcentaje más bajo reporta rendimientos entre 5.5 y 7.0 t ha^{-1} (7 %), 7 a 8.5 t ha^{-1} (10 %). En el Cuadro 10 se muestra la distribución de frecuencias para el rendimiento de grano y zacate reportado por los entrevistados del grupo del SMo, en el cual se observa los siguiente: el 68% de entrevistados reportan un rendimiento entre 2.5 y 4.0 t ha^{-1}, seguido del 32% con un rendimiento entre 1.0 y 2.5 t ha^{-1}.

Cuadro 10. *Distribución de frecuencias del rendimiento de grano y zacate (SMo)*

Rendimiento de grano + zacate de maíz t ha^{-1}	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[1.0 - 2.5)	7.00	0.32	7.00	0.32
[2.5 - 4.0)	15.00	0.68	22.00	1.00
Total	22.00	1.00		

En el gráfico tipo ojiva, que se muestra a continuación (Figura 23), se observa el comportamiento del rendimiento de grano y zacate en ambos sistemas de manejo para la mayoría de los entrevistados, de tal forma que se puede observar que el 83 % de los entrevistados del SPo obtiene un rendimiento por debajo de las 5.5 t ha^{-1}, mientras que el 100 % de los entrevistados del SMo obtiene rendimientos menores de 4.0 t ha^{-1}.

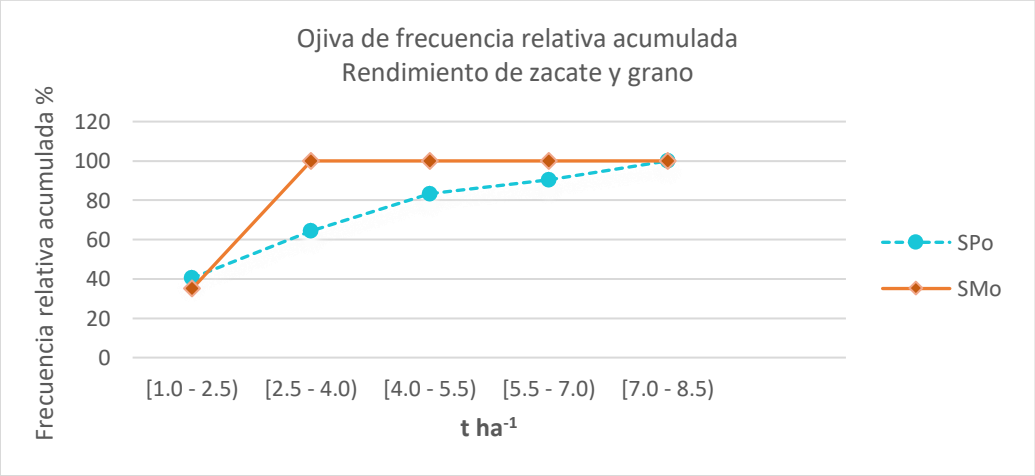

Figura 23. *Frecuencia relativa acumulada del rendimiento de zacate y grano de maíz*

6.4.1.3. Indicador 3: Porcentaje de familias que disponen de una actividad ganadera (FG)

La agricultura familiar, entendida como la combinación de la familia, la agricultura y la ganadería, y la actividad comercial, sigue representando la columna vertebral de la agricultura a nivel global, y se considera la base de los sistemas agroalimentarios sustentables (Contzen y Forney, 2017). Las unidades de producción familiar son una de las mayores manifestaciones de la producción ganadera nacional, participando en el abasto alimentario de pequeñas y medianas poblaciones (CEDRSSA, 2018). La estrategia productiva ganadera se construye teniendo como base la unidad doméstica o familiar, a través de la cual participan sus miembros. En las unidades de producción familiar rural se pueden distinguir tres tipos de manejo de ganado: estabulado, semiestabulado y de pastoreo, siendo el sistema de pastoreo es el más extendido en la ganadería familiar, en cuanto a los sistemas familiares de producción porcina, estos se concentran en ejidos principalmente (INEGI, 1998).

El cien por ciento de las familias entrevistadas del SMo, y el noventa y cinco por ciento de los entrevistados del SPo, desarrollan algún tipo de actividad ganadera, la cual se caracteriza por la crianza de las siguientes especies: gallinas, borregos, cerdos, conejos, patos, vacas y caballos. En ambos sistemas de manejo (SPo y SMo) las especies predominantes son: gallinas, borregos y cerdos como se observa en la Figura 24.

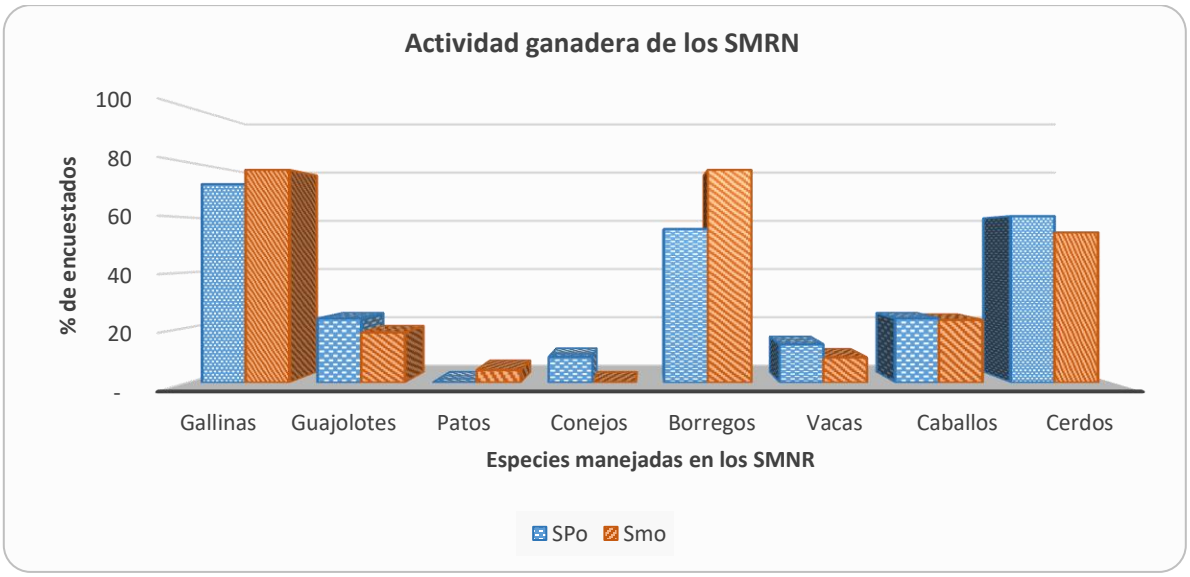

Figura 24. *Especies animales que conforman la actividad ganadera familiar de los SMRN*

El total de especies encontradas en el subsistema pecuario de los sistemas de manejo fue de ocho; sin embargo, el máximo de especies que se manejan por familia es de seis. En el Cuadro 11 se describe el número de especies animales para el SPo y el SMo,

A continuación, se describe la configuración de la ganadería familiar que conforma al subsistema pecuario de los agroecosistemas campesinos a nivel local:

Ganado aviar: este rubro se conforma por aves de traspatio, en el caso de las gallinas (*Gallus domesticus*) se observa una mediana de siete hembras y un macho de razas criollas en su mayoría, y los entrevistados refieren que cada hembra cría en promedio dos veces por año, de forma general, tanto las gallinas como sus productos son de autoconsumo, ya que, de las familias entrevistadas que tienen esta especie en su agroecosistema, solo una cuarta parte reporta una comercialización del 50% de dichos productos, y para los demás entrevistados al representar una fuente directa de abasto de alimento, estos, no realizan venta de huevo ni de gallinas (Figura 25).

Cuadro 11. *Cantidad de especies animales manejadas en cada SMRN*

No de especies manejadas	**SPo**		**SMo**	
	Frecuencia	%	*Frecuencia*	%
1	4	9.10	6	27.27
2	7	16.20	4	18.18
3	13	29.70	8	36.36
4	9	21.60	1	4.55
5	8	18.00	2	9.09
6	2	5.40	1	4.55
Total	43.0	100.00	22.0	100.0

La segunda especie de interés de este tipo de ganado es el guajolote criollo (*Meleagris gallopavo* L.) cuya presencia dentro de los agroecosistemas de la zona es del 18.2 % en el SMo y del 23.3 % en el SPo, (14 familias por ambos sistemas), generalmente no son numerosos y en promedio las familias poseen tres hembras y un macho, de los cuales reportan entre uno y dos periodos reproductivos por hembra anualmente. Por otro lado, la crianza de esta especie tiene doble propósito, el 57 % de las familias que crían guajolote reportan combinar autoconsumo con comercialización de animales en pie, y para las familias restantes

es una fuente más de proteína de la que disponen a lo largo del año, dichas familias reportan un promedio de autoconsumo anual de 14.91 kg de carne de guajolote.

Figura 25. *Aves de traspatio en agroecosistema campesino, en Chignautla, Puebla.*

Fuente: fotografía de la autora

Lo anterior coincide con lo reportado por Aquino-Rodríguez *et al.* (2003) quienes estudiaron la presencia de guajolote criollo en comunidades veracruzanas, reportando una presencia del 27.6 y 20.6 % en la ganadería familiar de dos comunidades, dichos autores señalan que la producción de esta especie aparte de ser muy baja en comparación con la de otras especies como gallinas, cerdos y borregos, tiene una tendencia alarmante a desaparecer debido a su estatus dentro de la ganadería familiar en "peligro de extinción", además destacan la importancia social (tradición familiar) y económica (comercialización de animales en zonas marginadas y rurales) de la crianza de esta especie.

En el caso de solo una familia agrupada en el SMo, hay presencia de crianza de patos, la cual consta de dos hembras y un macho, cuyos derivados son totalmente de autoconsumo.

Ganado ovino: Otra de las especies de importancia para el subsistema pecuario de los SMRN es la crianza de ovinos, principalmente borregos (Figura 26), cuya presencia en el SMo es del 77.3 %, mientras que en el SPo del 55.8 %, su composición es de una mediana de 10 hembras y 1 macho en el Sistema monocultivo, y de entre 15 a 16 hembras y 1 macho para el caso del Sistema policultivo, las principales razas manejadas son Suffolk (individuos caracterizados por tener la cara negra). La crianza de borregos en los agroecosistemas tiene diferentes propósitos, la engorda para la venta y consumo familiar y la producción de estiércol para la incorporación al suelo, en el SMo, cerca del 60 % de las familias realizan

venta y utilizan una mínima parte para el autoconsumo, generalmente estas ventas se realizan en pie y no en canal.

Figura 26. *Uso de corral para el subsistema ovino en San Mateo, Chignautla, Puebla*

Fuente: fotografía de la autora

Ganado porcino: este rubro se compone por especies de cerdo blanco y cerdo criollo negro, en el SPo se reporta su presencia en el 60% de los hogares de los entrevistados, mientras que en el SMo se desarrolla este tipo de ganadería en el 55% de los hogares de los entrevistados (Figura 27).

Figura 27. *a) Cerdos criollos en San Mateo, y b) Cerdo criollo en engorda en agroecosistema campesino, Chignautla, Puebla.*

Fuente: fotografías de la autora

Ganado equino: en los sistemas de manejo se encontró en igual proporción (23%) la presencia de caballos (*Equus caballus*) utilizados como animales de trabajo, en actividades del agroecosistema, como el acarreo de rastrojo y leña (Figuras 28 y 29).

Figuras 28 y 29. *Caballos empleados en la yunta de forma tradicional*

Fuente: fotografías de la autora

Ganado cunícola: la actividad cunícola en la zona no se encuentra muy desarrollada, y se reporta este tipo de actividad ganadería a nivel familiar solo en el 9% de los hogares de los entrevistados del SPo.

Ganado bovino: de manera general se detecta una baja presencia de este tipo de ganado en la ganadería familiar de ambos sistemas de manejo, en el caso del SPo, el 14% de los entrevistados mencionan desarrollar esta actividad, y en el SMo, 9.1% de los entrevistados maneja este tipo de ganado.

Las labores en estas unidades de producción familiar se basan en la complementariedad entre personas de diferente género y edad, lo que resulta en roles femeninos y masculinos específicos, lo que se conoce como una división tradicional de las labores, sin embargo, en esta división de labores la desigualdad de género es inherente, ya que las mujeres son la fuerza laboral no remunerada e invisible. Contzen y Forney (2017) señalan que a pesar de que las configuraciones de las familias campesinas resultan a menudo pragmáticas, también son objetivamente desiguales, aunque, dichas configuraciones puedan percibirse como justas cuando existe el reconocimiento mutuo, resultando en satisfacción entre los miembros de la

familia, asimismo, estos autores sostienen que la agricultura familiar presenta desafíos para la igualdad de género, aunque algunos tipos de configuraciones ofrecen nuevos caminos hacia una mayor igualdad de género.

6.4.1.4. Indicador 4: Ingresos anuales por venta de animales por sistema de manejo (IVASM)

Este indicador además de relacionarse con la disponibilidad de alimentos para el auto abasto, uno de los requerimientos de la soberanía alimentaria (FAO-SICIAV, 2006), tiene que ver con una importante fuente de ahorro para la familia campesina (INEGI, 1998).

De acuerdo con Alemán *et al*. (2007) en la actividad ganadera asociada a los agroecosistemas campesinos es frecuente la venta de animales en pie, ocasionada por la creciente demanda en los mercados urbanos, lo cual en algunos casos llega a aportar hasta el 30% de los ingresos globales de las unidades familiares.

Para la evaluación de este indicador se recurrió a la encuesta, para dicho fin en el cuestionario aplicado a los entrevistados, dentro del apartado de la actividad ganadera familiar, se incluyeron cuestiones relacionadas al número de individuos por especie comercializados (en pie), asimismo, el precio y peso promedio por individuo, de tal forma que se obtuvo el producto del número de animales vendidos por su precio a nivel local.

El promedio de los datos provenientes del SMo referentes al ingreso anual por venta de animales fue de $30,434.3. En el caso del grupo SPo, el promedio de dichas observaciones fue de $20,184.2, es decir, $10,250.00 menos que en el SMo.

En la Figura 30 se muestra un diagrama de caja y bigotes “box-plot” con dicha información resumida, el cual, permite apreciar la distribución de los ingresos anuales en ambos sistemas de manejo, y de manera gráfica ver que el SMo tiene cierta ventaja en este indicador debido al comportamiento de los datos en el primer y tercer cuartil.

Cabe mencionar que el cien por ciento de los entrevistados dentro del grupo del SMo mencionaron realizar venta de animales en pie, mientras que, en el SPo, solo el ochenta y cuatro por ciento reportó realizar venta de animales de manera general, por lo que el dieciséis por ciento restantes de este grupo destinan los animales que crían al autoconsumo.

La venta total de carne de guajolote criollo fue de 128.25 kg de carne, con un promedio de 21.33 kg por familia, esto implica la producción de alrededor de 30 guajolotes (19 en el SPo y 11 en el SMo) durante el periodo comprendido entre enero del 2019 y enero del 2020.

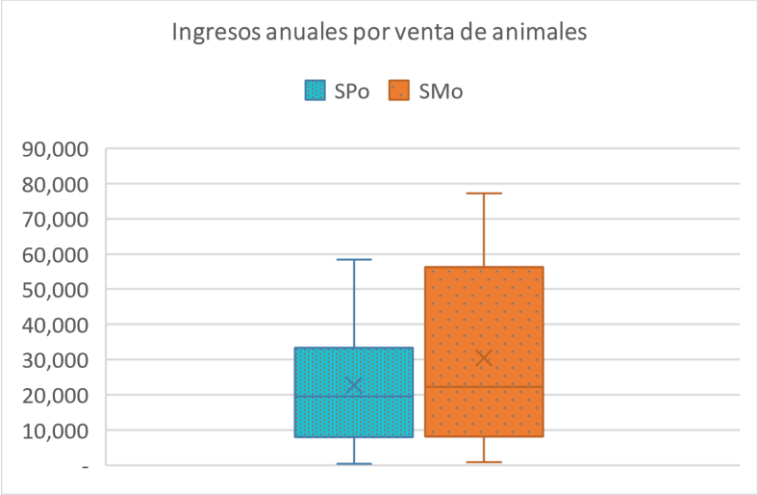

Figura 30. *Ingresos anuales derivados de la venta de animales en los SMRN*

Cerca de una cuarta parte de los entrevistados del SPo, que realizan venta de animales, se encuentra en un intervalo de ingresos anuales de $400.00 a $11,400.00, el 32% reporta ingresos superiores a $11,400.00 y por debajo de $22,400.00, seguido del 23% de entrevistados que mencionaron haber obtenido entre $22,400.00 y $33,400.00 durante el ciclo evaluado. Por otro lado, 7% de los entrevistados reportaron ingresos anuales superiores a $33,400.00 y por debajo de $44,400.00, otro 7% percibió ingresos entre $44,400.00 y $54,400.00, y solo el 5% restante tuvo un ingreso mayor a $54,400.00 y menor o igual a $66,400.00 (Cuadro 12).

Cuadro 12. *Distribución de frecuencias del ingreso anual por venta de animales en el SPo*

Ingresos anuales SPo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[400-11,400)	11.00	0.26	11.00	0.26
[11,400-22,400)	14.00	0.32	25.00	0.58
[22,400-33,400)	10.00	0.23	35.00	0.81
[33,400-44,400)	3.00	0.07	38.00	0.88
[44,400-54,400)	3.00	0.07	41.00	0.95
[54,400-66,400)	2.00	0.05	43.00	1.00
Total	43.00	1.00		

Por su parte, en el SMo cerca de una cuarta parte de los entrevistados perciben ingresos anuales entre $54,400.00 y $66,400.00 (Cuadro 13).

Cuadro 13. *Distribución de frecuencias del ingreso anual por venta de animales en el SMo*

Ingresos anuales SMo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[400-11,400)	7.00	0.32	7.00	0.32
[11,400-22,400)	4.00	0.18	11.00	0.50
[22,400-33,400)	1.00	0.05	12.00	0.55
[33,400-44,400)	3.00	0.14	15.00	0.68
[44,400-54,400)	1.00	0.05	16.00	0.73
[54,400-66,400)	5.00	0.23	21.00	0.95
[66,400-77,400]	1.00	0.05	22.00	1.00
Total	22.00	1.00		

6.4.1.5. Indicador 5: Relación Beneficio/Costo (B/C)

La relación Beneficio/Costo indica el retorno en dinero obtenido por cada unidad monetaria invertida y resulta de dividir el ingreso bruto entre el costo total, de tal forma que, cuando la relación es igual a 1 el productor no obtiene ganancias y no pierde, mientras que relaciones mayores a 1 significan ganancias y menores pérdidas (Herrera *et al.*, 1994).

Para la obtención de los datos de este indicador se empleó la encuesta, en la que se solicitó a los entrevistados mediante el cuestionario, información asociada a ingresos y egresos de los sistemas de manejo en términos de inversión y ganancias por la cosecha anual según los componentes y actividades de su agroecosistema. La relación B/C es el cociente de los beneficios entre los costos de producción.

Para medir este indicador se enlistaron en primer término los ingresos del sistema, de acuerdo con los siguientes rubros: ingresos derivados de la cosecha de los cultivos (grano y rastrojo de maíz, calabaza, frijol, haba) y por otro lado, los egresos del sistema derivados de la mano de obra por concepto de preparación del suelo, siembra y labores culturales, donde se incluyeron: costos por traslado de estiércol a la parcela, barbecho y rastra, surcado, siembra, deshierbe, aterrado o aporque, abonado, despunte apical, control de plagas y enfermedades, amogotado, pizca de maíz, desgranado y empacado de zacate; asimismo, se contabilizaron aquellos costos derivados de la compra de insumos básicos para la producción, empezando por la semilla, fertilizantes de origen orgánico (estiércol) y sintéticos, principalmente urea y

fosfato diamónico (DAP) , y productos para el manejo de plagas y enfermedades (fungicidas, insecticidas) y de arvenses (herbicidas).

En el Cuadro 14 se muestra la media de los ingresos y costos de inversión por cada sistema de manejo.

Cuadro 14. *Ingresos y costos promedio de inversión por cada sistema de manejo*

Sistema de manejo	Ingresos totales	Costos de inversión totales
SPo	$27,642	$23,870
SMo	$28,581	$24,965

En el Cuadro 15 se detallan los costos asociados a la producción de maíz por hectárea cultivada en el SPo.

Cuadro 15. *Desglose de costos de inversión promedio en el SPo*

Actividad/insumo	Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario ($)	Costo total ha^{-1} ($)
Preparación del terreno	Arado con yunta	1	jornal	150	150
	Renta de yunta para barbechar	1	ha	1,110.00	1,110
	Rastreo con yunta	1	jornal	150	150
	Renta de yunta para rastrear	1	ha	726	726
	Surcado	1	jornal	150	150
	Renta de yunta para surcar	1	ha	709	709
Siembra	Siembra manual	6	jornal	150	900
	Semilla maíz	26.8	kg	9.29	248.9
	Semilla frijol	9.6	kg	15.1	144.9
	Semilla calabaza	0.6	kg	47	28.2
Fertilización	Flete del estiércol a la parcela	1	viaje	614	614
	Estiércol	1,502.50	kg	1.8	2,705
	Incorporación de estiércol	4	jornal	150	600
	Fertilizante mineral: urea	219.5	kg	7.81	1,714
	Fertilizante mineral: DAP	184	kg	11.25	2,070
	Aplicación de fertilizante mineral	4	jornal	150	600
Aterrado o aporque	Aporque manual	12	jornal	150	1,800
Control de arvenses	Deshierbe manual	20	jornal	150	3,000
Cosecha	Amogotado	4	jornal	150	600
	Pisca o pixca de maíz	16	jornal	150	2,400
	Picado de zacate o empacado	9	jornal	150	1,350
Desgranado	Desgranado manual	14	jornal	150	2,100
				Total	**$ 23,870**

Como en el caso del SPo, se realizó el ejercicio de desglosar los costos de producción para el SMo (Cuadro 16).

De acuerdo con datos de UNISEM[3] el costo de producción del maíz por hectárea en una zona de temporal es de aproximadamente $27,000.00. Encontrando el punto de equilibrio con un precio de maíz de $7,000.00 por tonelada en la producción alrededor de 4 t ha^{-1}. Lo anterior presenta similitud con los costos de inversión para ambos sistemas manejo.

Cuadro 16. *Desglose de costos de inversión promedio en el SMo*

Actividad/insumo	Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario ($)	Costo total ha^{-1} ($)
Preparación del terreno	Arado con maquinaria	1	ha	1,200	1,200
	Rastreo con maquinaria	1	ha	600	600
	Surcado con maquinaria	1	jornal	600	600
Siembra	Siembra manual	8	jornal	150	1,200
	Semilla	32.9	kg	11.3	372
Fertilización	Flete del estiércol a la parcela	1	viaje	1,000	1,000
	Estiércol	2,000	kg	2.3	4,600
	Incorporación de estiércol	5	jornal	150	750
	Fertilizante mineral: urea	235	kg	7.81	1,835
	Fertilizante mineral: DAP	155.4	kg	11.25	1,748
	Aplicación de fertilizante mineral	5	jornal	150	750
Aterrado o aporque	Aporque con maquinaria	2	jornal	150	300
	Renta de maquinaria	1	ha	250	250
Otras labores	Despunte apical	8	jornal	150	1,200
Control de arvenses	Deshierbe	10	jornal	150	1,500
	Herbicida	4	L	200	800
Cosecha	Amogotado	7.5	jornal	150	1,125
	Pisca o pixca de maíz	18.2	jornal	150	2,730
	Empacado de zacate	1	jornal	150	150
	Costo por renta de maquinaria	1	ha	1,030	1,030
Desgranado	Desgranado con máquina	1	ha	1,225	1,225
				Total	**$ 24,965**

El promedio de la relación beneficio/costo en el SPo fue de 1.2, y en el SMo de 1.1. Respecto al comportamiento de los datos, en el primer cuartil el SPo presentó una relación B/C de 0.7, y el SMo 0.6. En el segundo cuartil se observó para el SPo una relación beneficio/costo de 1.0, y para el SMo 1.0. En el tercer cuartil de las observaciones, se tuvo una relación beneficio costo de 1.6 en el SPo y de 1.4 en el SMo. De forma general se puede decir que, los datos se comportaron de manera similar en los grupos de comparación, tal como se observa en la Figura 31.

[3] Datos actualizados del ciclo Primavera/Verano 2022.

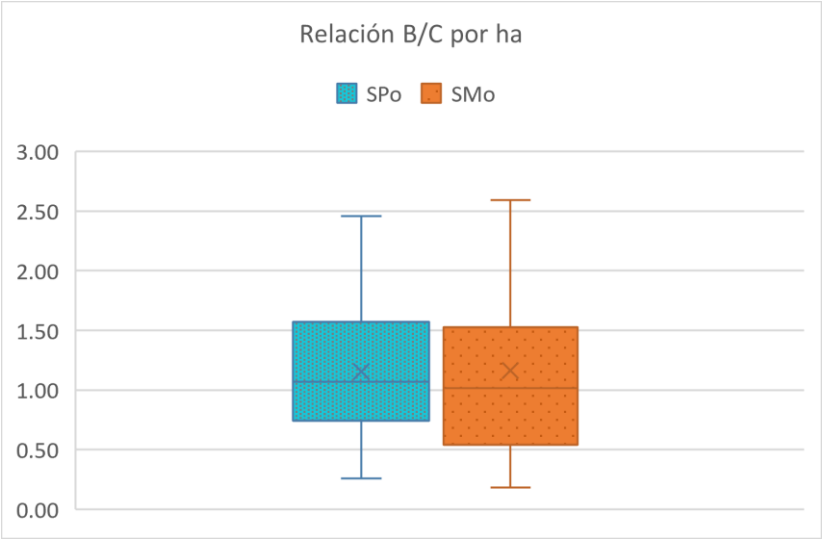

Figura 31. *Relación B/C en los SMRN*

Para analizar la distribución de frecuencias de este indicador para los sistemas de manejo en comparación se crearon los siguientes intervalos respecto a la Relación B/C, como se puede observar en el Cuadro 17 y más adelante en el Cuadro 18.

La mayoría de las observaciones respecto a la relación beneficio/costo en el caso del SPo se concentran principalmente en los intervalos de 0.5 a 0.9 (28 %), 0.9 a 1.3 (26 %), 1.3 a 1.7 (21 %), y se observa que solo el 12 % de los entrevistados consigue una relación beneficio/costo entre 1.7 y 2.1, y solo un 5 % se ubica en el intervalo más alto que va de 2.1 a 2.5.

Cuadro 17. *Distribución de frecuencias la relación B/C en el SPo*

Relación B/C SPo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[0.1-0.5)	4.00	0.09	4.00	0.09
[0.5-1.0)	12.00	0.28	16.00	0.37
[1.0-1.3)	11.00	0.26	27.00	0.63
[1.3-1.7)	9.00	0.21	36.00	0.84
[1.7-2.1)	5.00	0.12	41.00	0.95
[2.1-2.5)	2.00	0.05	43.00	1.00
Total	43.00	1.00		

En el caso de la distribución de frecuencias para el grupo del SMo, se observa a continuación que cerca de la quinta parte de entrevistados se ubica en el intervalo más bajo de la relación beneficio/costo, es decir, de 0.1 a 0.5, y la mayor parte de entrevistados se concentra en los

intervalos 0.5 a 0.9 (23 %) y 0.9 a 1.3 (23 %), en el intervalo de 1.3 a 1.7 se ubica el 14 % de los productores, solo 5 % se ubica en un intervalo de 1.7 a 2.1, y por último, 9 % se ubica entre 2.1 y 2.5, mientras que el 9 % restante se ubica en el intervalo más alto, 2.5 a 2.9.

Cuadro 18. *Distribución de frecuencias la relación B/C en el SMo*

Relación B/C SMo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[0.1-0.5)	4.00	0.18	4.00	0.18
[0.5-1.0)	6.00	0.27	10.00	0.45
[1.0-1.3)	4.00	0.18	14.00	0.64
[1.3-1.7)	3.00	0.14	17.00	0.77
[1.7-2.1)	1.00	0.05	18.00	0.82
[2.1-2.5)	2.00	0.09	20.00	0.91
[2.5-2.9]	2.00	0.09	22.00	1.00
Total	22.00	1.00		

El siguiente gráfico tipo ojiva (Figura 32) corresponde al valor de la frecuencia acumulada para este indicador en ambos sistemas de manejo, en dicho gráfico se puede notar un comportamiento similar en el SPo y en el SMo, y se puede ver que, en ambos casos, cerca del 40 % de los campesinos presenta una relación beneficio/costo menor a 1.

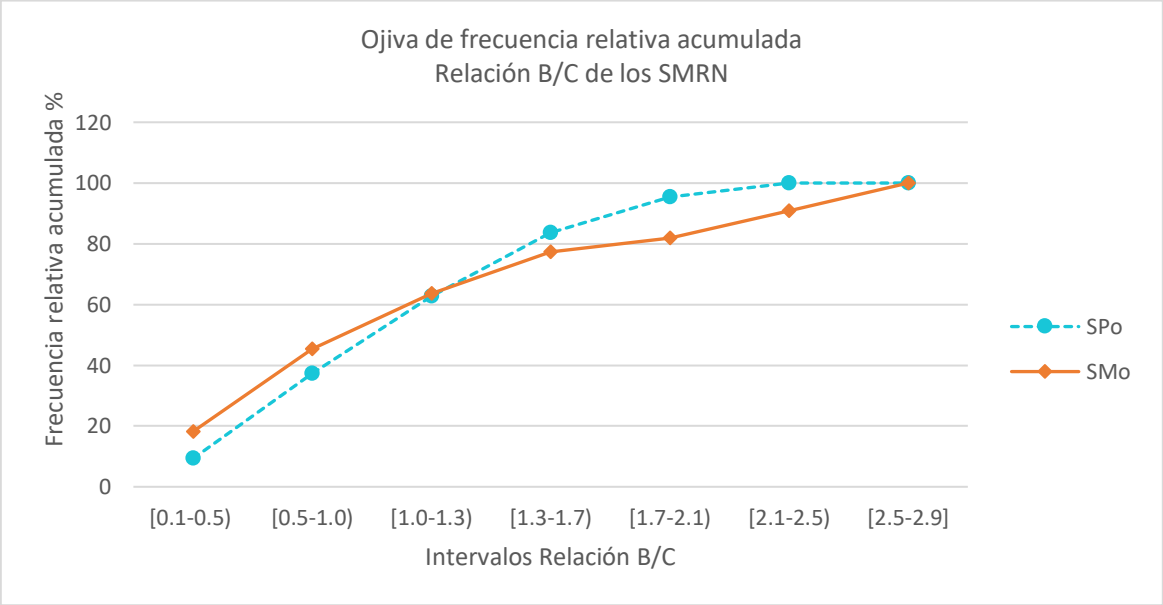

Figura 32. *Frecuencia relativa acumulada de la Relación B/C de los SMRN*

6.4.1.6. Indicador 6: Uso equivalente de la tierra (UET)

En la Agroecología se promueven sistemas productivos que mantienen la salud de los agroecosistemas y de las personas, respetando procesos ecológicos, a través de ciclos adaptados a las condiciones locales, un ejemplo de esto es la práctica de los policultivos los cuales han sido parte de los agroecosistemas tradicionales en la zona de estudio, sin embargo, así como ha ido permeando el modelo de producción convencional, dicha práctica se ha ido erosionando, debido al uso de herbicidas que inhiben el crecimiento simultáneo de otros cultivos, entre otras causas.

Evaluar el uso de la tierra de forma sistemática es esencial en la provisión de prácticas de manejo sostenible (Auzins *et al.*, 2013). Existen diferentes metodologías para dicho propósito, como el uso equivalente de la tierra o índice equivalente de la tierra (UET), que se emplea como indicador de la eficiencia de los policultivos en el uso del suelo.

En el grupo del SPo las principales asociaciones de cultivo o policultivos que se registraron fueron las siguientes: maíz-frijol, maíz-calabaza, maíz-haba, y maíz-calabaza-frijol, se analizaron los rendimientos promedio, obteniendo 1.4 t ha^{-1} (maíz-frijol), 1.1 t ha^{-1} (maíz-calabaza), 1.6 t ha^{-1} (maíz-haba) y 1.5 t ha^{-1} (maíz-calabaza-frijol), de esta manera, se observó mayor rendimiento en las asociaciones de maíz-calabaza-frijol y maíz-haba.

Para contrastar las asociaciones de cultivo mencionadas con el sistema de maíz en monocultivo, se recurrió al uso equivalente de la tierra (UET) según lo propuesto por Mead y Willey (1980). De acuerdo con esta métrica, un valor de UET superior a 1 indica una ventaja en las asociaciones de cultivo. En este estudio, se encontró que el valor promedio del UET para el monocultivo de maíz fue de 1, mientras que para las asociaciones policultivo, el valor promedio del UET fue de 1.9. Estos resultados demuestran que las diferentes asociaciones de cultivo en la zona de estudio presentan una clara ventaja, ya que muestran una mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales (Cuadro 19).

Las asociaciones con una eficiencia más alta en el uso de la tierra fueron: maíz-haba y maíz-calabaza-frijol, con un valor de UET de 2.0, seguidas de la asociación de maíz-frijol con un valor de UET de 1.5, que quiere decir, que con una hectárea bajo estos sistemas de cultivo se incrementa la eficiencia del uso de la tierra en 100 y 50 % respectivamente, sin embargo la

adopción de la asociación de maíz con haba podría ser baja, ya que menos del 10 % de los encuestados del SPo la practican, por lo que, el sistema de maíz-calabaza-frijol, podría ser más susceptible de volver a ser adoptado dado que cerca del 37 % de los encuestados del SPo siembran bajo este esquema.

Cuadro 19. *Uso Equivalente de la Tierra por sistema de cultivo en Chignautla, Puebla.*

Sistema de cultivo	**Rendimiento relativo**				
	Maíz	Frijol	Calabaza	Haba	UET
Maíz monocultivo	1.0	-	-	-	1.0
Maíz-frijol	1.1	0.3	-	-	1.5
Maíz-calabaza	1.1	-	0.1	-	1.2
Maíz-haba	1.4	-	-	0.7	2.0
Maíz-calabaza-frijol	1.4	0.3	0.3	-	2.0

6.4.1.7. Indicador 7: Proporción de empleos permanentes por familia (PEPF)

En la búsqueda de sistemas agrícolas más sostenibles, se hace hincapié en responder no solo a las demandas nutricionales de la familia campesina sino también a la generación de empleo duradero, digno y con condiciones justas para las generaciones presentes y futuras, además de mejorar la capacidad productiva y regenerativa de la base de recursos naturales.

Los trabajadores agrícolas son aquellos hombres y mujeres que trabajan en los campos de cultivo y unidades ganaderas, mismos que desarrollan diversas actividades durante el ciclo agrícola que comprende desde la preparación del suelo hasta la cosecha.

Para la evaluación de este indicador se recabó información a través de la encuesta sobre el número de integrantes por núcleo familiar, y enlistando las actividades derivadas del ciclo de cultivo, se contabilizó el número de jornales por cada una de estas actividades, específicamente los provenientes de la familia, las labores enlistadas se detallan en el Cuadro 20.

Los entrevistados de ambos sistemas de manejo señalan que las labores de siembra y cosecha son realizadas por los miembros de la familia, por lo general los hombres realizan las actividades que demandan más fuerza física como la siembra, mujeres y niños se integran a las labores de deshierbe manual, despunte, fertilización y cosecha, dicha dinámica coincide con la información reportada por Ortiz-Timoteo *et al*. (2014).

Cuadro 20. *Labores de cultivo del agroecosistema maíz en Chignautla, Puebla.*

Labores de cultivo	Actividades
Preparación del suelo	Adición de estiércol al suelo
	Barbecho o arado
	Rastra
	Surcado
Siembra	Siembra de maíz
Fertilización	Abonado o mateado
Deshierbe	Primera escarda
	Segunda escarda
Aterrado	Aterrado o aporque del maíz
Fumigación	Control de plagas y enfermedades
	Control de arvenses
Despunte	Despunte apical
Amogotado	Amogotado del maíz
Cosecha	Pizca de maíz
Empacado	Empacado/manojeado de rastrojo
Picado	Picado de rastrojo de maíz
Desgranado	Desgranado de maíz

En el Cuadro 21 se observa la distribución de la variable proporción de mano de obra familiar del SPo. De acuerdo con lo reportado en la encuesta, el 35% de los entrevistados emplea entre 20 a 35% de mano de obra familiar para las labores del agroecosistema, seguido del 33% que reporta emplear un porcentaje de mano de obra familiar en un rango de 35 a 60%. Por otro lado, en solo el 9% de las unidades de producción del SPo se emplea entre un 90 y 100% de mano de obra familiar.

Cuadro 21. *Porcentaje de mano de obra familiar en el SPo*

% mano de obra familiar SPo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[5-20)	3.00	0.07	3.00	0.07
[20-35)	15.00	0.35	18.00	0.42
[35-60)	14.00	0.33	32.00	0.74
[60-75)	4.00	0.09	36.00	0.84
[75-90)	3.00	0.07	39.00	0.91
[90-100]	4.00	0.09	43.00	1.00
Total	43.00	1.00		

En el Cuadro 22 se muestra la distribución de la variable proporción de mano de obra familiar en las actividades del SMo. El 9% de los entrevistados de este grupo emplea mano de obra

familiar para las labores del agroecosistema en un 5 a 20%, el 32% de los entrevistados emplean mano de obra familiar en un 35 a 60%. En términos generales se puede observar que en el 80% de los casos, en el grupo del SMo, menos de tres cuartas partes de los jornaleros provienen de la familia nuclear y solo el 5% de las unidades de producción retiene entre 90 y 100% de mano de obra familiar.

Cuadro 22. *Porcentaje de mano de obra familiar en el SMo*

% mano de obra familiar SMo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[5-20)	2.00	0.09	2.00	0.09
[20-35)	5.00	0.23	7.00	0.32
[35-60)	7.00	0.32	14.00	0.64
[60-75)	4.00	0.18	18.00	0.82
[75-90)	3.00	0.14	21.00	0.95
[90-100]	1.00	0.05	22.00	1.00
Total	22.00	1.00		

Ambos sistemas de manejo mostraron una proporción de mano de obra familiar muy similar. Sin embargo, es notoria la tendencia a la diversificación de fuentes de ingreso en la familia en ambos grupos, a través de actividades económicas al margen del campo.

6.4.2. Atributo estabilidad, resiliencia y confiabilidad

En este apartado se analizan los resultados de la medición y monitoreo de los indicadores: 8) Índice de prácticas agroecológicas, 9) Propiedades fisicoquímicas del suelo, y 10) Índice de agrobiodiversidad (IDA).

6.4.2.1. Indicador 8: Índice de prácticas agroecológicas (IPA)

El enfoque agroecológico posibilita el análisis de la sustentabilidad de los agroecosistemas, a través de la exploración de las diversas prácticas relacionadas con principios ecológicos que ayudan a asegurar condiciones edáficas óptimas (aporte de materia orgánica), mejorar el flujo de nutrientes, reducir pérdidas de suelo y agua, optimizar manejo de plagas y enfermedades, y propiciar sistemas agrícolas integrados (alto nivel de diversidad funcional). Para dicho propósito se asume que la realización de un mayor número de este tipo de prácticas ayuda a fortalecer la sustentabilidad del agroecosistema.

Entre las prácticas para el aprovisionamiento de condiciones edáficas óptimas para el desarrollo de los cultivos, mediante un manejo de materia orgánica y estimulación de la biología del suelo, se encuentran: la aplicación de abonos orgánicos, disminución del uso de herbicidas, y el establecimiento y mantenimiento de cubiertas vegetales entre surcos (Altieri y Nicholls, 2000; Moreno-Hernández *et al*., 2011).

Considerándose un aspecto positivo para un manejo sustentable la presencia de diversidad en el agroecosistema, existen evidencias que pueden considerarse indicadores, tales como la presencia de árboles vivos al contorno de la parcela, la presencia o evidencia de animales, la presencia de otras especies cultivadas o silvestres en el interior de la parcela (Moreno-Hernández *et al*., 2011).

Además, entre los indicadores propuestos por Altieri y Nicholls (2000) para considerar el manejo de un agroecosistema como "sustentable", se encuentra el número de prácticas de manejo cuyo objetivo principal es evitar pérdidas de suelo por erosión, sobre todo en terrenos con una pendiente mayor a 5%, entre dichas prácticas se puede mencionar las siguientes: conservación de cubierta vegetal, orientación de surcos perpendiculares a la pendiente, trazo de surcos en curvas a nivel.

Por otro lado, la técnica empleada en el agroecosistema para el manejo de plagas y enfermedades, así como del manejo de arvenses, también constituye un indicador sobre el nivel de sustentabilidad, al ser los productos empleados de origen externo y al representar un peligro para la salud, y potencial contaminación medioambiental, en este indicador se pueden distinguir las siguientes categorías: manejo químico, manejo integrado (químico-biológico o manual), manejo orgánico (biológico o manual) o bien, darse el caso de no realizar algún tipo de manejo al no haber presencia de plagas o enfermedades (Moreno-Hernández *et al*., 2011)..

Para este indicador se construyó un índice basado aquellas prácticas identificadas en la zona de estudio a través de la entrevista semiestructurada, se consideraron diez prácticas agroecológicas, mismas que se mencionan en el Cuadro 23, donde también se observa que la práctica considerada como agroecológica más común entre los entrevistados del SPo es el cultivo intercalado, como se mencionó anteriormente, en este grupo se reportan asociaciones de cultivo como maíz-frijol, maíz-haba, maíz-frijol-calabaza, la segunda más frecuente es la incorporación de materia orgánica a través de la adición periódica de estiércol y el picado de

zacate en la parcela en algunos casos, y en tercer lugar una mínima aplicación de productos para el control de plagas y enfermedades así como productos para el manejo de arvenses, ya que es muy común realizar deshierbes manuales y aplicación muy esporádica de plaguicidas. En cuanto al SMo, la práctica agroecológica más realizada fue la incorporación de materia orgánica a través de la adición de estiércol seguida de una mínima aplicación de plaguicidas y herbicidas. Además, en ambos casos, la construcción de obras de conservación de suelos es muy baja al igual que el movimiento mínimo de la tierra en labores de preparación del suelo para la siembra.

Cuadro 23. *Prácticas agroecológicas realizadas y número de productores por manejo de sistema*

Práctica agroecológica	**SPo**		**SMo**	
	Frecuencia	*%*	*Frecuencia*	*%*
1. Cultivo intercalado (policultivo)	43	100	0	0
2. Incorporación de materia orgánica	36	84	20	91
3. Trazo de surcos en curvas a nivel	29	67	12	55
4. Picado de rastrojo en parcela (más del 50%)	21	49	7	32
5. Deshierbes manuales	28	65	10	45
6. Construcción de zanjas bordo, presas, terrazas	1	2	1	5
7. Rotación de cultivos	4	9	4	18
8. Descanso de tierras	10	23	1	5
9. Mínima aplicación de herbicidas y plaguicidas	32	74	16	73
10. Movimiento mínimo de la tierra (labranza mínima)	2	5	1	5

La información requerida para dicho fin se recabó mediante la encuesta aplicada a una muestra de 65 productores de maíz, distribuida en 43 productores que practican el SPo y 22 que practican el SMo.

Se construyó el Índice de prácticas agroecológicas, mediante el producto del número de prácticas agroecológicas incorporadas, entre el número de prácticas agroecológicas totales reportadas, siguiendo la propuesta metodológica de Herrera-Pérez *et al.* (2017) para prácticas agroecológicas en agroecosistemas de *Agave tequiliana*. Asimismo, se asignó un nivel de implementación de dichas prácticas, de tal forma que los productores que obtuvieron un índice de 0 a 0.3 se ubicaron en un nivel “Bajo” de implementación, los ubicados en un rango de 0.3 a 0.6 nivel “Medio”, los que obtuvieron entre 0.6 a 0.8 nivel “Alto”, y los que tuvieron un índice de 0.8 a 1.0 nivel “Muy alto” de implementación.

El promedio de dicho índice en el SPo fue de 0.52, mientras que, en el SMo, el promedio fue de 0.32. En el caso de los entrevistados del sistema policultivo, 51 % se ubicaron en un nivel medio del IPA, es decir, con cinco prácticas agroecológicas implementadas, entre las que destacan cultivo intercalado, incorporación de materia orgánica, la mínima aplicación de pesticidas y trazo de surcos en contorno, mientras que la mayoría de los encuestados del sistema monocultivo (59 %) se ubica en un nivel bajo, con 3 a 4 prácticas implementadas, por ejemplo: la incorporación de materia orgánica, la mínima aplicación de pesticidas, trazo de surcos a nivel y construcción de presas y/o zanjas bordo (Cuadro 24).

Cuadro 24. *Índice de prácticas agroecológicas realizadas por sistema de manejo*

Índice de prácticas agroecológicas	SPo		SMo	
	Frecuencia	**%**	**Frecuencia**	**%**
Muy bajo [0.0-0.3)	0	0	5	23
Bajo [0.3-0.5)	6	14	13	59
Medio [0.5-0.6)	22	51	3	14
Alto [0.6-0.8)	15	35	1	5
Muy alto [0.8-1.0)	0	0	0	0
Total	43	100	22	100

Lo anterior coincide con lo reportado por Herrera-Pérez *et al.* (2017) al comparar un sistema de manejo tradicional con un sistema de manejo de monocultivo, lo cual conduce a la conclusión de que, los sistemas de manejo tradicional con características de policultivo tienden a ser más sustentables que aquellos de tipo convencional y de monocultivo.

6.4.2.2. Indicador 9: Propiedades fisicoquímicas del suelo (PFQS)

El concepto de calidad del suelo alude a la utilidad del suelo para un propósito específico, Bautista-Cruz *et al.* (2004) mencionan que, dicho concepto, se asocia a la capacidad del suelo para funcionar, lo cual se relaciona con atributos como la fertilidad, la productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental, por otro lado, la salud del suelo, se refiere al estado de las propiedades dinámicas del suelo, como contenido de materia orgánica, diversidad de macro y microorganismos en un tiempo particular.

El manejo agroecológico del suelo incide en el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua, la regulación del pH, mayor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), así como el incremento del porcentaje de materia orgánica (M.O.), y los nutrientes disponibles, el nitrógeno es uno de los macronutrientes más limitantes en el crecimiento de diversos cultivos

de interés, y su principal reserva en el suelo es la materia orgánica, que por medio de procesos de mineralización brinda a las plantas parte de sus requerimientos (Contreras-Cruz *et al*., 2019).

En el enfoque agroecológico se prioriza la restauración de la vida del suelo con el fin de restablecer y/o mejorar los múltiples procesos biológicos basados en él, por lo cual se prioriza el monitoreo de la materia orgánica del suelo, así como facilitar y supervisar su biodiversidad, aprovechando los saberes y conocimientos campesinos a través de enfoques participativos (FAO, 2015).

Para la evaluación de este indicador se efectuó un muestreo en campo previo a las determinaciones en laboratorio y la interpretación de los análisis (Figura 33).

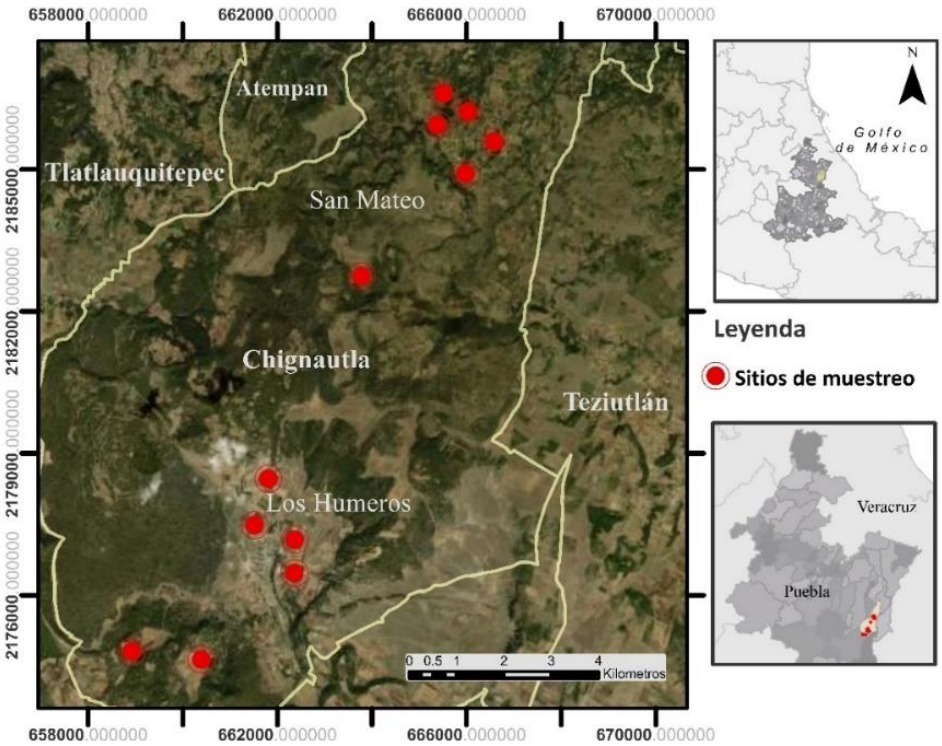

Figura 33. *Localización de los sitios de muestreo de suelo*

Fuente: Elaboración propia a partir de las coordenadas de las parcelas muestreadas, con información de INEGI, Marco Geoestadístico Nacional (2022).

Se consideraron algunas de las principales determinaciones analíticas para evaluación de fertilidad que se plantean en la NOM-021-RECNAT-2000 (2002): textura, pH, densidad

aparente, contenido de materia orgánica, nitrógeno inorgánico, fósforo extraíble, capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables, y conductividad eléctrica.

Las unidades de muestreo fueron doce parcelas de 2 a 3 ha de extensión, mediante la técnica de zig-zag a lo largo del sitio de muestreo se tomó un aproximado de 8 a 10 submuestras por hectárea, dependiendo de la heterogeneidad de cada parcela, para posteriormente realizar una muestra compuesta. Ya que el objetivo era conocer el estado de las propiedades antes mencionadas del suelo en la zona de máxima exploración radical del maíz, la profundidad de muestreo fue de 0-30 cm (NOM-021-RECNAT-2000, 2002), para la colecta de las muestras se empleó una pala recta, bolsas plásticas y etiquetas. La homogenización de las muestras se realizó en una tina plástica con capacidad de 30 L, con ayuda se una pala de aluminio se realizó el mezclado de las submuestras de cada parcela, posteriormente se formó la muestra compuesta de aproximadamente 2 kg la cual se etiquetó con los datos de la parcela, el productor y el cultivo, para su posterior preparación en laboratorio.

El promedio de las determinaciones realizadas para las muestras de ambos sistemas de manejo se muestra en el Cuadro 25.

Cuadro 25. *Promedio de las determinaciones de parámetros fisicoquímicos del suelo en ambos sistemas de manejo*

Parámetro	Unidad	SMo	SPo
Punto saturación	%	61.7	66.5
Capacidad de campo	%	32.9	35.7
Punto de marchitez permanente	%	19.6	21.2
Densidad aparente	g/cm^3	0.8	0.8
Conductividad eléctrica	$dS\ m^{-1}$	0.33	0.34
pH	Escala 0-14	7.9	7.8
Bicarbonatos	ppm	120.0	197.3
Materia orgánica	%	8.8	9.3
NO_3	%	0.013	0.014
P	ppm	2.5	1.0
K	ppm	21.8	27.2
Ca	ppm	128.3	143.2
Mg	ppm	129.8	188.3
Na	ppm	11.2	10.7
RAS[4]	meq	0.2	0.2
CIC[5]	%	17.7	26.9

[4] RAS: Relación de Adsorción de Sodio
[5] CIC: Capacidad de intercambio catiónico

La textura del 80% de los suelos del SPo fue arenosa, y el 20% presentó suelos de tipo franco-limoso, mientras que, en el SPo, el 71% de los suelos presentó textura arenosa y el 29% fue de tipo franco-limoso, en ambos grupos se observaron suelos medianamente alcalinos (7.4-8.5), con capacidad rápida de filtración, con niveles medios de nitrógeno inorgánico, pero con niveles bajos de fósforo y potasio.

De manera general, el promedio del contenido de materia orgánica de los suelos del grupo del SPo fue más alto en comparación con el promedio del grupo del SMo, los suelos de ambos grupos presentaron un nivel de materia orgánica aceptable, y esto puede tener relación con su origen volcánico, ya que este tipo de suelos se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica, alta porosidad, y baja densidad aparente. De acuerdo con los valores de referencia planteados en la NOM-021-RECNAT-2000 (2002) para la clasificación de los contenidos de materia orgánica en suelos minerales y volcánicos, los suelos de ambos grupos se encuentran en un rango medio (6.1-10.9%).

La conductividad eléctrica del extracto de saturación es uno de los índices más evaluados para la concentración salina del suelo, su interés radica en el hecho de que un contenido alto de sales solubles en el suelo puede afectar el crecimiento de los cultivos y en general la salud de este. En el caso de la conductividad eléctrica, cuando CE < 1.0 dS m^{-1} los efectos de la salinidad en el suelo son despreciables, tal es el caso de los suelos de ambos sistemas de manejo.

6.4.2.3. Indicador 10: Índice de agrobiodiversidad (IDA)

Los recursos genéticos asociados con la biodiversidad agrícola se encuentran ligados a grupos sociales, por usos ancestrales y actuales, y forman parte del conocimiento tradicional o saberes locales (Cadena *et al.*, 2020).

Para Brookfield y Stocking (1999), se pueden distinguir cuatro componentes de la Agrobiodiversidad relacionados entre sí:

a) Diversidad biofísica: se refiere a la diversidad natural del ambiente, este tipo de diversidad habla de la resiliencia natural del entorno biofísico, para ser aprovechado en los sistemas agrícolas. Incluye el suelo, y sus características físicas, químicas y biológicas asociadas a la

productividad, la biodiversidad de la vida vegetal natural, procesos biogeoquímicos, y también la variabilidad en todos estos elementos.

b) Manejo de la diversidad: incluye todas las formas de manejo del suelo, el agua, y la biota para la producción de alimentos o cultivos y para mantener la fertilidad del suelo y su estructura, para lo cual se consideran métodos físicos, químicos y biológicos de manejo.

c) Agrobiodiversidad: manejo y uso directo de especies biológicas, incluyendo todos aquellos cultivos, especies semi-domesticadas y silvestres.

d) Diversidad organizacional: se refiere a aspectos socioeconómicos, esto incluye diversidad en la forma en que los agroecosistemas son operados, y en el uso de dotaciones de recursos por parte de los propietarios.

Leyva y Lores (2012), señalan que para la evaluación de la agrobiodiversidad se han empleado índices diseñados principalmente para estudios del funcionamiento general de los ecosistemas no intervenidos (diversidad *Alfa, Beta y Gamma*). Asimismo, estos autores mencionan que dichos índices no son del todo funcionales para fines de caracterizar la diversidad de los agroecosistemas en función de aspectos como: valores utilitarios, y aportes medibles para la alimentación humana, de los animales, así como del suelo y necesidades complementarias relacionadas al fortalecimiento del agroecosistema y/o la espiritualidad humana.

Para la evaluación de este indicador se recurrió al índice de Agrobiodiversidad (IDA), propuesta metodológica de Leyva y Lores (2012); quienes organizan la biodiversidad de los agroecosistemas en cuatro categorías de especies: para la alimentación humana (FER), para la alimentación animal (FE), para la alimentación del suelo (AVA), y, por último, especies no alimenticias (COM) de utilidad para los humanos y para el agroecosistema. A su vez, cada grupo se organiza en subgrupos atendiendo al rol que desempeñan las especies, asimismo se establece una escala de valores por cada grupo, y para cuantificar su importancia se asume una relación entre el valor ponderado de las especies que realmente posee el agroecosistema versus el máximo número deseado, de esta forma se determinan los índices de los grupos mencionados anteriormente (IFER, IFE, IAVA, ICOM), mismos que sumados y divididos entre el número total de grupos, dan como resultado el IDA.

Para la colecta de información se recurrió a la encuesta, donde se incluyó una serie de preguntas asociadas a las especies manejadas adicionales al cultivo o cultivos principales, así como las especies silvestres con mayor presencia en las parcelas y alrededores, asimismo, se empleó la observación directa y la entrevista semiestructurada para obtener información más detallada.

Las especies reportadas en la encuesta se agruparon de acuerdo con la propuesta metodológica de Leyva y Lores (2012), en catorce componentes o grupos específicos que responden a las necesidades directas e indirectas del agroecosistema (Cuadro 26). Una vez recopilada la información se procedió al análisis e interpretación de los resultados.

Cuadro 26. *Grupos y componentes de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas.*

Grupos		Funciones
Biodiversidad para la alimentación humana	I	Formadores de origen animal
	II	Formadores de origen vegetal
	III	Energéticos: cereales, raíces y tubérculos
	IV	Energéticos: oleaginosas
	V	Reguladoras: hortalizas
	VI	Reguladoras: frutales
Biodiversidad para la alimentación animal	VII	Formadores: plantas leguminosas y semillas
	VIII	Energéticos: pastos y arvenses
Biodiversidad para la alimentación del suelo	IX	Biomasa: abonos verdes, residuos de cosecha
	X	Alternativas biológicas: humus, fertilizantes
Biodiversidad complementaria	XI	Vinculado a la salud corporal: medicinales, condimentos, estimulantes y otros
	XII	Vinculado a la espiritualidad humana: flores y ornamentales, fines religiosos y otras
	XIII	Complementarias para el agroecosistema: melíferas, reguladoras de plagas y otras
	XIV	Otros fines diversos: maderables, energéticas, artesanales y otras.

Fuente: Leyva y Lores (2012).

El índice de agrobiodiversidad se compone a su vez de cuatro grupos constituidos por un número específico de componentes (grupos de especies), a partir de esto Leyva y Lores (2012) establecen un índice específico para cada grupo de especies (IEG), el cual analiza de forma individual cada grupo. De esta forma el cálculo del IDA permite reconocer dentro de que grupos presentan deficiencias, de acuerdo con Leyva y Lores (2012) valores del IDA por debajo de 0.66 no se consideran sostenibles, siendo 1.0 el valor máximo. A continuación, se

detallan las especies reportadas en los sistemas de manejo evaluados en este trabajo (Cuadro 27 y Cuadro 28).

Cuadro 27. *Especies reportadas en el SPo.*

Subíndice	Formadores	Nombre científico	Nombre común
IFER **Biodiversidad para la alimentación humana**	I. Formadores de origen animal	*Equus caballus*	Ganado equino
		Bos taurus	Ganado vacuno
		Bos taurus	Ganado vacuno mejorado (producción de leche)
		Ovis aires	Ganado ovino criollo
		Ovis aires	Ganado ovino mejorado
		Sus scrofa domesticus	Ganado porcino criollo
		Sus scrofa domesticus	Ganado porcino mejorado
		Gallus gallus domesticus	Aves de traspatio
		Melleagris gallopavo	Aves de traspatio (guajolote)
	II. Formadores de origen vegetal	*Pisum sativum*	Chícharo
		Vicia faba	Haba
		Phaseolus vulgaris	Frijol
		Phaseolus coccineus	Frijol acalete o "shashanas"
IFER **Biodiversidad para la alimentación humana**	III. Energéticos (cereales, raíces y tubérculos)	*Zea mays*	Maíz criollo azul
		Zea mays	Maíz criollo amarillo
		Zea mays	Maíz criollo blanco
		Zea mays	Maíz criollo morado
		Zea mays	Maíz solareño
		Solanum tuberosum	Papa
	IV. Energéticos (oleaginosas)	*NA*	*NA*
	V. Reguladores (hortalizas)	*Lactuca sativa L*	Lechuga
		Spinacia oleracea	Espinaca
		Beta vulgaris var. Cicla	Acelga
		Amaranthus hypochondriacus	Quelite o quintonil
		Physalis philadelphica	Tomate de milpa
		Coriandrum sativum	Cilantro
		Chenopodium ambrosioides	Epazote criollo
		Cucurbita argyrosperma	Calabaza de castilla
	VI. Reguladoras (frutales)	*Malus domestica*	Manzano
		Pyrus communis	Pera
		Prunus salicifolia	Capulín
		Prunus persica	Durazno
		Prunus domestica	Ciruelo
		Juglans regia	Nogal
		Vaccinium corymbosum	Arándano
IFE **Biodiversidad para la alimentación animal**	VII. Formadores (plantas leguminosas y semillas)	*Vicia faba*	Haba
		Vicia sativa	Ebo o veza
	VIII. Energéticos (pastos y arvenses)	*Brassica napus*	Nabo forrajero
		Festuca arundinacea	Pasto perenne Festuca
		Dactylis glomerata	Pasto perenne Orchard
		Rumex crispus	Lengua de vaca
		Cynodon dactylon	Zacate comun
IAVA **Biodiversidad para la alimentación del suelo**	IX. Biomasa abonos verdes y residuos de cosecha	*NA*	Residuos de cosecha
	X. Alternativas biológicas (humus, biofertilizantes)	*NA*	Estiércol compostado
		Baccharis salicifolia	Azomiate

ICOM **Biodiversidad complementaria**	XI. Vinculados a la salud corporal (medicinales, condimentos, estimulantes y otras)	*Baccharis conferta*	Escoba
		Rumex crispus	Lengua de vaca
		Arnica montana	Árnica
		Artemisia absinthium	Hierba maestra
		Calceolaria thyrsiflora	Hierba dulce
		Rubus glaucus	Mora silvestre
		Montanoa tomentosa	Zoapatle
		Ruta graveolens	Ruda
		Thymus vulgaris	Tomillo
		Origanum vulgare	Orégano
		Melissa officinalis	Toronjil
		Mentha spicata	Hierbabuena
		Salvia rosmarinus	Romero
	XII. Vinculado a la espiritualidad humana (ornamentales, fines religiosos,etc.)	*Calendula officinalis*	Caléndula
		Erysimum cheiri	Alhelí
	XIII. Complementario para el agroecosistema (melíferas, reguladoras de plagas y otras)	*NA*	NA
	XIV. Otros fines diversos (maderables, energéticas, artesanales y otras)	*Agave salmiana*	Maguey
		Pinus montezumae	Ocote
		Buddleja cordata	Tepozan
		Alnus acuminata	Aile
		Quercus rugosa	Encino

Una vez recabada la información sobre las especies manejadas y su valor ponderado de acuerdo con su nivel de importancia dentro del agroecosistema, se procedió al cálculo del IDA para el SPo:

1. $IFER = \frac{3+2+3+0+1+2}{18} = 0.61$
2. $IFE = \frac{2+1}{6} = 0.50$
3. $IAVA = \frac{2+2}{6} = 0.67$
4. $ICOM = \frac{3+0+0+3}{12} = 0.50$

$$IDA = \frac{0.61 + 0.50 + \ 0.67 + 0.50}{4} = 0.57$$

Cuadro 28. *Especies reportadas en el SMo.*

Subíndice	Formadores	Nombre científico	Nombre común
IFER **Biodiversidad para la alimentación humana**	I. Formadores de origen animal	*Equus caballus*	Ganado equino
		Bos taurus	Ganado vacuno
		Bos taurus	Ganado vacuno mejorado (producción de leche)
		Ovis aires	Ganado ovino criollo
		Ovis aires	Ganado ovino mejorado
		Sus scrofa domesticus	Ganado porcino criollo
		Sus scrofa domesticus	Ganado porcino mejorado

		Gallus gallus domesticus	Aves de traspatio
		Melleagris gallopavo	Aves de traspatio (guajolote)
	II. Formadores de origen vegetal	*Vicia faba*	Haba
		Phaseolus vulgaris	Frijol
	III. Energéticos (cereales, raíces y tubérculos)	*Zea mays*	Maíz criollo amarillo
		Zea mays	Maíz criollo blanco
		Solanum tuberosum	Papa
	IV. Energéticos (oleaginosas)	*NA*	*NA*
	V. Reguladores (hortalizas)	*Amaranthus hypochondriacus*	Quelite o quintonil
	VI. Reguladoras (frutales)	*NA*	NA
IFE **Biodiversidad para la alimentación animal**	VII. Formadores (plantas leguminosas y semillas)	*Vicia sativa*	Ebo o veza
	VIII. Energéticos (pastos y arvenses)	*Brassica napus*	Nabo forrajero
		Festuca arundinacea	Pasto perenne Festuca
		Avena sativa	Avena forrajera
		Dactylis glomerata	Pasto perenne Orchard
		Hordeum vulgare	Cebada
		Vicia faba	Haba
		Cynodon dactylon	Zacate común
IAVA **Biodiversidad para la alimentación del suelo**	IX. Biomasa abonos verdes y residuos de cosecha	*NA*	Residuos de cosecha
	X. Alternativas biológicas (humus, biofertilizantes)	*NA*	Estiércol compostado
ICOM **Biodiversidad complementaria**	XI. Vinculados a la salud corporal (medicinales, condimentos, estimulantes y otras)	*Baccharis salicifolia*	Azomiate
		Baccharis conferta	Escoba
		Montanoa tomentosa	Zoapatle
	XII. Vinculado a la espiritualidad humana (ornamentales, fines religiosos, etc.)	*NA*	NA
	XIII. Complementario para el agroecosistema (melíferas, reguladoras de plagas y otras)	*NA*	NA
	XIV. Otros fines diversos (maderables, energéticas, artesanales y otras)	*Agave salmiana*	Maguey
		Agave spp.	Quiote
		Pinus montezumae	Ocote
		Buddleja cordata	Tepozan
		Alnus acuminata	Aile
		Quercus rugosa	Encino

Una vez recabada la información sobre las especies manejadas y su valor ponderado de acuerdo con su nivel de importancia dentro del agroecosistema, se procedió al cálculo del IDA para el SMo:

1. $IFER = \frac{3+2+1+0+0+0}{18} = 0.33$
2. $IFE = \frac{2+3}{6} = 0.83$
3. $IAVA = \frac{0+2}{6} = 0.33$

4. $ICOM = \frac{0+0+0+2}{12} = 0.17$

$$IDA = \frac{0.33 + 0.83 + \ 0.33 + 0.17}{4} = 0.42$$

La diversidad de especies distintas reportadas en el SPo fue de 57, mientras que en el SMo fue de 28, lo cual puede tener relación con la producción especializada en ambos casos, donde más allá de generar interacciones de cultivo se busca incrementar la producción de los cultivos básicos: como maíz, frijol, haba, calabaza, dependiendo del sistema de manejo. Los sistemas de manejo no se consideran sostenibles de acuerdo con los criterios de la metodología empleada, ya que el IDA de ambos fue menor de 0.66. En la Figura 34 se muestra la comparación de los subíndices de los sistemas de manejo, el SPo presentó valores más altos que el SMo en los subíndices: biodiversidad para la alimentación humana (IFER), biodiversidad para la alimentación del suelo (IAVA) y biodiversidad complementaria (ICOM), el SMo obtuvo un valor más alto en el subíndice biodiversidad para la alimentación animal (IFE). El hecho de que el IFER presente un valor más alto respecto a las demás categorías evidencia el hecho de que entre los productores se priorice la soberanía alimentaria en el hogar.

Los índices evaluados muestran la necesidad de trabajar en mantener la biodiversidad actual e incrementarla en el mediano y largo plazo, con el objetivo de favorecer la integralidad y funcionalidad de los sistemas de producción.

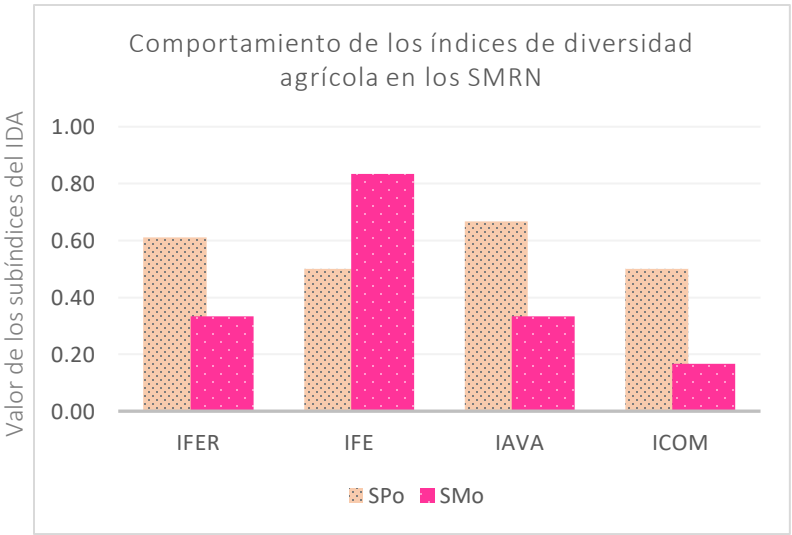

Figura 34. *Comportamiento de los componentes del IDA en los SMRN*

A pesar de que los índices evaluados no reflejaron resultados favorables para ambos sistemas de manejo, se destaca la conservación de maíces nativos por parte de los campesinos en la zona de estudio. Esta práctica es importante a nivel local y regional, ya que los maíces se utilizan para diversos fines, como alimentación animal y humana, así como en la cocina tradicional. En el SPo, los campesinos cultivan de tres a cinco variedades de maíz criollo que tienen múltiples usos, como la alimentación y la preparación de platos tradicionales como tortillas, tamales y bebidas ancestrales como el xole[6] (en el caso del maíz azul). Estas acciones de conservación promueven la diversidad y resiliencia de los agroecosistemas, además de preservar la cultura y conocimientos tradicionales relacionados con el maíz.

Figura 35. *Diversidad de maíces cultivados en los SMRN, a) maíz pinto arrocillo (SPo), b) maíz blanco arrocillo (SPo), c) maíz morado, azul y blanco ranchero (SPo), y d) maíz blanco (SMo).*

Fuente: Fotografías de la autora

Entre las especies silvestres reportadas con más frecuencia en ambos sistemas de manejo por encontrarse en los bordes de las parcelas o al interior de estas, se encuentra el quiote (*Agave spp*.), un tipo de maguey, cuya flor es comestible, y cuya preparación constituye uno de los ritos gastronómicos más antiguos y emblemáticos de México (SIAP, 2018). Así mismo, es común encontrar amoles, plantas del género *Beschorneria,* cuya raíz fue usada ampliamente en el pasado como jabón. Otra de las especies mencionadas es el escobo (*Baccharis conferta*), arbusto originario de México, y una de las especies más dominantes en el estrato arbustivo, al cual se atribuyen usos medicinales como el tratamiento de verrugas en bovinos, además de la elaboración de escobas para uso doméstico (Figura 36).

[6] El xole es una bebida de origen prehispánico de los pueblos ubicados en la Sierra Nororiental de Puebla que sólo se puede encontrar durante las fiestas patronales o las ferias, es una especie de atole de maíz, cuya receta ha logrado mantenerse de generación en generación, en municipios como Teziutlán y Chignautla.

Figura 36. *Especies silvestres encontradas en los bordes de las parcelas a) y b) Amole (Beschorneria yuccoides) y c) Escobo (Baccharis conferta)*

Fuente: Fotografías de la autora

6.4.3. Atributo Adaptabilidad (flexibilidad)

La adaptabilidad (flexibilidad) es uno de los atributos de los agroecosistemas que se define como "la capacidad de mantener la productividad ante cambios estructurales", además es un componente de la resiliencia, que tiene que ver con la flexibilidad de los sistemas para adaptarse a nuevas circunstancias económicas y biofísicas integrando innovación y procesos de aprendizaje en constante evolución, así como el uso de múltiples estrategias.

Dentro de este atributo de sustentabilidad se propusieron los indicadores 11) Índice de adopción de nuevas técnicas, y 12) Índice de técnicas ancestrales en uso, derivados de los puntos críticos: Bajo nivel de innovación y Pérdida de conocimiento tradicional, respectivamente, a continuación, se describe lo encontrado en la medición de dichos indicadores.

6.4.3.1. Indicador 11: Índice de adopción de nuevas técnicas (IANT)

De acuerdo con Pérez-Guel *et al.* (2016) la adopción de nuevas técnicas se asocia con el uso de tecnología que permite desarrollar un potencial productivo, dichos autores sostienen que el identificar el nivel de adopción de innovaciones de los productores permite en primera instancia, evaluar la pertinencia de la innovación para el productor, identificando al mismo tiempo las limitantes o barreras en el proceso de adopción, y como segundo aspecto, inherente al productor, se facilita la identificación de características particulares por las que un productor decide o no adoptar una práctica, y de esta forma conocer las oportunidades de innovación que pueden existir.

La información para la evaluación de este indicador se recopiló mediante la encuesta aplicada a una muestra aleatoria de 65 productores, distribuidos en los sistemas de manejo SPo (43 productores) y SMo (22 productores), en dicha encuesta se tomó en cuenta el hecho de que hubieran recibido capacitación al menos en los últimos cinco años, en el caso de los entrevistados del SPo, el 44.2% refirió haber recibido algún tipo de capacitación en materia de tecnología agrícola, y en el caso de los entrevistados del SMo, el 31.2% señaló haber sido capacitado en este rubro. Las innovaciones referidas se agruparon en las categorías de manejo agronómico y aquellas destinadas al aporte de materia orgánica a los suelos y la nutrición de los cultivos, como se muestra en el Cuadro 29.

Entre los encuestados que refirieron haber recibido algún tipo de capacitación se registró un total de cinco técnicas impartidas, en ambos sistemas de manejo, en el SPo se registró la adopción promedio de una técnica principalmente en el manejo de maíz o relacionada con la elaboración y uso de biofertilizantes, mientras que en el SMo se registró un promedio de dos tecnologías incorporadas, principalmente aquellas relacionadas con el manejo de especies forestales encaminadas a la reforestación de zonas afectadas por incendios, así como la elaboración de abonos orgánicos haciendo uso de residuos de cosecha y estiércol de las especies comúnmente manejadas en el agroecosistema.

Cuadro 29. *Innovaciones reportadas para agroecosistemas campesinos en Chignautla, Puebla.*

		SPo		**SMo**	
Categoría	**Innovación**	Frecuencia	(%)	Frecuencia	(%)
Manejo agronómico	Curvas a nivel	1	2	0	0
	Labranza mínima	1	2	0	0
	Sistema MIAF	10	23	4	18
	Selección masal en maíz	2	5	0	0
	Manejo de especies forestales	10	23	7	32
Nutrición	Compostaje y lombricompostaje	2	5	2	9
	Fertilización balanceada (maíz)	18	42	7	32
	Uso de biofertilizantes	11	26	4	18

De acuerdo con lo anterior se construyó el índice de adopción de nuevas técnicas, como el cociente del número de innovaciones incorporadas, entre el número de tecnologías reportadas en el apartado de capacitación (5). Asimismo, se asignó un nivel de apropiación de dichas tecnologías, de tal forma que los productores que obtuvieron un índice de 0 a 0.25 se ubicaron en un nivel “nulo” de innovación, los ubicados en un rango de 0.25 a 0.50 nivel “bajo”, los

que obtuvieron entre 0.50 a 0.75 nivel “medio”, y los que tuvieron un índice de 0.75 a 1.0 nivel “Alto” de innovación. Los resultados se muestran en el Cuadro 30.

El promedio de dicho índice en el SPo fue de 0.32, mientras que, en el SMo, el promedio fue de 0.35. En el caso de los entrevistados del sistema policultivo, cerca de la mitad (47%) se ubicaron en un nivel de innovación nulo, y cerca de la quinta parte se situó en un nivel de innovación alto al incorporar la mayoría de las técnicas aprendidas.

Por otra parte, más de la mitad de los entrevistados del SMo se ubicaron en un nivel de innovación nulo al no incorporar a su agroecosistema alguna técnica aprendida o al no recibir alguna capacitación, y solo un 27% se ubicó en un nivel alto de innovación.

Cuadro 30. *Índice de adopción de nuevas técnicas en los SMRN.*

Rango	**SPo**		**SMo**	
	Frecuencia	*%*	*Frecuencia*	*%*
Muy bajo [0-0.25)	20	46	12	55
Bajo [0.25-0.50)	12	28	3	14
Medio [0.50-0.75)	3	7	1	5
Alto [0.75-1.0]	8	19	6	27
Total	43	100	22	100

6.4.3.2. Indicador 12: Índice de técnicas ancestrales en uso (ITA)

La agricultura campesina se sustenta en procesos culturales a diversas escalas, preserva tradiciones y conocimientos tanto en la producción de alimentos como en lo que respecta a prácticas ecológicas respetuosas con el medio ambiente (Loyola, 2016).

Loyola (2016) establece que a pesar de la influencia de la agricultura convencional aún se practican técnicas agrícolas ancestrales con incidencia de conocimiento tradicional.

La Agroecología como disciplina que permite el entendimiento de los elementos y funcionalidad de las prácticas de la agricultura ancestral y tradicional busca contribuir a concebir la sustentabilidad en la agricultura para así lograr una transformación social, ambiental y económica, lo cual sienta la base para un uso productivo de los recursos en los agroecosistemas locales.

Para la construcción de este índice se recurrió a la encuesta para la colecta de información primaria acerca de las prácticas consideradas como ancestrales y que contribuyen a un

manejo más sustentable del agroecosistema, el listado de dichas prácticas se obtuvo previamente mediante entrevista semiestructurada a actores clave, estas prácticas se mencionan en el Cuadro 31, en el que además se muestra la proporción de campesinos que realizan cada una de las prácticas, por sistema de manejo.

Entre los métodos de predicción meteorológica que refirieron los entrevistados se encontraron los siguientes: observación de nubes, observación de montañas o cerros, cabañuelas[7], observación de la luna y el cielo, observación del comportamiento de algunos insectos. En el caso de los productores del SPo, el 58.14% menciona que, se guía por alguno de los métodos señalados anteriormente, principalmente por las cabañuelas (68%), y el resto usa una combinación de los demás métodos.

Cuadro 31. *Prácticas ancestrales reportadas por los campesinos en la zona de estudio*.

Técnica/práctica ancestral	**SPo**		**SMo**	
	Frecuencia	(%)	Frecuencia	(%)
Uso de yunta	16	37	5	23
Observación de las condiciones atmosféricas para predecir el tiempo	25	58	12	55
Bendición de animales y semillas	15	35	11	50
Intercambio de semillas	28	65	16	73
Rotación de cultivos	5	12	3	14
Policultivos	43	100	0	0
Uso de unidades de medidas tradicionales	32	74	13	59
Uso de herramientas ancestrales	33	77	13	59
Planeación de actividades agrícolas basada en fases lunares	42	98	21	95

Por otro lado, 54% de los entrevistados del SMo refieren el uso de algún método de predicción meteorológica, de los cuales, 75% señala basarse en las cabañuelas, 16% en la observación de las nubes y la luna, y 9% una combinación de los dos métodos anteriores.

En cuanto a las unidades de medición tradicionales, las más referidas fueron la brazada equivalente a un par de brazos extendidos, la yuntada equivalente a 2,500 m^2 cuyo nombre proviene de la superficie que es capaz de trabajar en un día una yunta, y la tarea, medida usual en los trabajos de campo equivalente a 686.28 m^2. El 74.42% de los entrevistados del

[7] Las cabañuelas son un método empleado tradicionalmente por los agricultores, que basado en la observación de las condiciones atmosféricas en los primeros 24 días de enero, se busca predecir el tiempo a lo largo del año.

SPo utiliza dichas unidades de medida, y en el caso del SMo, el 59% aún hace uso de estas unidades, lo cual se explica por el hecho de que en el SMo se hagan las labores de forma mecanizada, lo cual implica que los trabajos se cobren por hectárea o fracciones de hectárea, mientras que en el SPo se recurre en la mayoría de los casos al uso de la yunta para las labores de preparación de la tierra.

Una vez recopilada la información sobre la vigencia de dichas prácticas en el agroecosistema, se calculó el Índice de técnicas ancestrales (ITA), como el cociente entre el número de prácticas ancestrales en uso dentro del agroecosistema sobre el número de prácticas ancestrales listadas para la zona de estudio. De esta forma, se agrupó en tres clasificaciones: Bajo (0.1-0.3), medio (0.3-0.6) y alto (0.6-0.9). Se obtuvieron valores medios de 0.50 (SPo) y de 0.56 (SMo), lo que los ubicó en un nivel medio en el uso de técnicas ancestrales.

En el caso de los entrevistados del SPo, el 81% se ubicó en un nivel medio, mientras que el 64% de los entrevistados del SMo se encontró en dicho nivel (Cuadro 32), lo que podría indicar una tendencia al abandono de algunas de las técnicas ancestrales referidas anteriormente, tal es el caso del uso de herramientas ancestrales, la tracción animal, y las unidades de medida tradicionales dado el aumento de la mecanización en estos sistemas de manejo, esto se refleja también en la poca práctica del policultivo al tener una tendencia mayor a la simplificación de los agroecosistemas.

Cuadro 32. *Índice de técnicas ancestrales en uso.*

Rango	**SPo**		**SMo**	
	Frecuencia	*%*	*Frecuencia*	*%*
Bajo [0.1-0.3)	6	14	4	18
Medio [0.3-0.6)	35	81	14	64
Alto [0.6-0.9]	2	5	4	18
Total	43	98	22	100

6.4.4. Atributo Equidad

El atributo equidad hace referencia a la capacidad del agroecosistema para distribuir de manera justa los beneficios tanto productivos como ambientales, además, la equidad se refiere a la capacidad para delegar responsabilidades, al mismo tiempo que se permite la participación de todos los integrantes del agroecosistema en los procesos de toma de decisiones (Fonseca-Carreño *et al*., 2020).

Generalmente en el núcleo familiar la toma de decisiones se realiza conjuntamente para buscar le beneficio común, en este punto en particular toma relevancia la equidad de género tanto como la equidad intergeneracional, aspecto en el que se abordan la distribución justa de recursos materiales, como espirituales y las oportunidades esenciales que la sociedad le ofrece a cada individuo.

A continuación, se analizan los resultados del indicador asociado al punto crítico Baja participación de las nuevas generaciones en las decisiones de la comunidad: *Relevo intergeneracional.*

6.4.4.1. Indicador 13: Índice de relevo intergeneracional (RI)

Otro de los desafíos que enfrenta hoy en día la agricultura campesina tiene que ver con los cambios producidos en la transición generacional entorno a la propiedad, el régimen productivo, y los vínculos familiares tanto de género como generacionales, por un lado la falta de relevo intergeneracional en los agroecosistemas campesinos no solo conduce la pérdida de la biodiversidad sino que es un catalizador de dicha pérdida, por otro lado la continuidad o relevo se traduce en la preservación y reproducción de los sistemas de producción local sustentables y de la misma biodiversidad (Vizcarra *et al*., 2015).

A través de la medición de este indicador se buscó conocer el nivel de participación de los integrantes más jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema, para esta finalidad se recabó información primaria mediante la aplicación de una encuesta a productores de maíz en diferente sistema de manejo: Sistema policultivo (SPo) y Sistema monocultivo (SMo), finalmente, para la construcción del índice de relevo intergeneracional se dividió el total de hijos por familia que participan activamente en las actividades del agroecosistema entre el número total de hijos reportado por cada familia.

El promedio de hijos e hijas en ambos sistemas de manejo fue de 4, siendo 2 en promedio los que se integran a las actividades del agroecosistema. En el Cuadro 33 se describe el rango de hijos e hijas por familia por cada sistema de manejo que se involucran directamente con las actividades de preparación de la tierra, siembra, labores culturales y cosecha, así como en las actividades derivadas del subsistema pecuario descrito anteriormente.

De forma general se aprecia que la participación de los hijos varones es más alta que la participación de mujeres en ambos sistemas de manejo. En el caso del SPo más de la mitad de encuestados mencionó que sus hijas están alejadas de dichas actividades, mientras que en el SMo poco más de tres cuartas partes se encuentran en la misma situación, esto se debe posiblemente a los roles de género establecidos para las actividades dentro del hogar y dentro del agroecosistema.

Cuadro 33. *Participación de hijos e hijas en actividades del agroecosistema*.

	SPo		**SMo**	
No. de hijos en actividades del agroecosistema	Frecuencia	%	Frecuencia	%
0	11	26	6	27
1 a 2	26	60	12	55
3 a 5	6	14	4	18
No. de hijas en actividades del agroecosistema				
0	24	56	17	77
1 a 2	14	33	5	23
3 a 5	5	12	0	0

Como se mencionó anteriormente el índice de relevo intergeneracional se calculó como el cociente del total de hijos e hijas que se integran a las labores del agroecosistema entre el número total de hijos por familia, en el Cuadro 34 se muestra el resultado de dicho índice. Se observa que en el SPo cerca de una quinta parte de los entrevistados reportó un nivel de relevo "nulo a muy bajo", en el SMo, 31.8% de los entrevistados se ubicó en dicho nivel de relevo.

Cuadro 34. *Índice de relevo intergeneracional*.

	SPo		**SMo**	
Rango	*Frecuencia*	*%*	*Frecuencia*	*%*
Nulo a muy bajo [0-0.2]	10	23.3	7	31.8
Bajo (0.2-0.4]	10	23.3	3	13.6
Medio (0.4-0.6]	9	20.9	6	27.3
Medio-Alto (0.6-0.8]	5	11.6	4	18.2
Alto (0.8-1.0]	9	20.9	2	9.1
Total	43	100	22	100

La media del índice de relevo intergeneracional del SPo fue de 0.5, mientras que la media del SMo fue de 0.4. Por lo que se puede decir que esta característica es similar en ambos sistemas de manejo, aunque solo en el SPo más de 20% de las unidades de producción

cuentan con un índice de relevo superior a 0.8, mientras que solo 9% de las unidades de producción del SMo se encuentra en este nivel.

6.4.5. Atributo Autodependencia (Autogestión)

La autodependencia o autogestión (en términos sociales) se refiere a la capacidad del agroecosistema para regular y controlar sus interacciones con el exterior, en este atributo se incluyen aspectos de organización, así como los mecanismos del sistema socioambiental para definir de manera interna sus objetivos, prioridades, así como su identidad y valores con los que se identifica. Entre los criterios de diagnóstico más usuales para dicho atributo se encuentran: la participación, organización, control sobre el sistema y toma de decisiones, así como la dependencia de insumos y factores externos.

Desde la visión de la Agroecología los sistemas agrícolas de uso intensivo de recursos y que demandan un alto aporte de insumos externos, han provocado problemas de deforestación a gran escala, escasez de agua, pérdida de biodiversidad, degradación de suelos, niveles elevados en las emisiones de gases de efecto invernadero, por otro lado, los sistemas bajo manejo agroecológico tienden a ser más resilientes, al mismo tiempo que reducen la dependencia de insumos externos se reduce la vulnerabilidad de los productores al riesgo económico (FAO, 2018).

Dentro del presente trabajo de investigación se evaluó el indicador *Dependencia de insumos externos* derivado del punto crítico: Alta dependencia de apoyos gubernamentales para la producción y bajos recursos económicos disponibles. A continuación, se expone el análisis de dicho indicador.

6.4.5.1. Indicador 14: Dependencia de insumos externos (DIE)

La Agroecología enfatiza el uso de recursos locales internos para disminuir la dependencia de insumos externos, que a su vez son controlados por factores externos al agroecosistema.

Para la evaluación de este indicador se recurrió a la encuesta como técnica de recolección de datos, para dicho fin se listaron los insumos necesarios reportados para la producción cada ciclo y la cantidad que se emplea de cada uno por superficie cultivada: semillas, fertilizantes de origen sintético y orgánico, plaguicidas, etc., posteriormente se discriminó cada insumo

de acuerdo con su origen: local o externo, y se obtuvo el total por cada entrevistado, finalmente se calculó el cociente del total de insumos adquiridos de manera externa, entre el total de insumos empleados a lo largo del ciclo agrícola. Derivado de esto se generó la siguiente tabla con la cantidad promedio por cada insumo empleado en los dos sistemas de manejo (Cuadro 35).

Entre los insumos de origen externo se encontraron principalmente los fertilizantes de origen sintético, así como los productos destinados al manejo de plagas y enfermedades, y en el caso del SMo, algunas semillas de forrajes, mientras que en los insumos de origen local se encontraron las semillas se maíz, frijol y calabaza, mismas que los productores seleccionan año con año, con la finalidad de preservar las variedades que siembran desde hace varios años y que en ocasiones llegan a compartir con sus vecinos, otro de los insumos locales es el estiércol que se genera en el subsistema pecuario, dependiendo de las especies manejadas.

Cuadro 35. *Cantidad de insumos empleados durante el ciclo agrícola en los SMRN.*

Insumos	**Descripción**	**SPo** **kg ha^{-1}**	**SMo** **kg ha^{-1}**
Semillas	Maíz	26.70	30.00
	Frijol	10.60	18.10
	Calabaza	0.70	-
	Otros cultivos	-	62.00
Fertilizantes de origen sintético	N	218.40	225.00
	P	200.00	150.00
	K	-	-
Fertilizantes orgánicos	Estiércol compostado	1200.00	1700.00
Plaguicidas	Herbicida, fungicida, insecticida	-	2.00

En el SPo se emplearon 422 kg de insumos externos de un total de 1,850 kg de insumos por hectárea. En el caso del SMo, se empleó una media de 495 kg de insumos externos de un total de 2,028 kg de insumos. La media del DIE fue de 0.22 (SPo) y 0.23 (SMo), lo cual, expresado en porcentaje, quiere decir que, cerca del 20% de insumos empleados en el ciclo agrícola provienen del exterior.

Para interpretar el resultado del cociente obtenido en el cálculo mencionado anteriormente es importante tener en cuenta que mientras más pequeño es dicho cociente menor es la

dependencia de insumos externos del agroecosistema, y por lo tanto se acerca a un nivel óptimo.

En el Cuadro 36 se resume la información sobre este indicador para el caso específico del SPo, en el cual, solo el 14% de los entrevistados se ubicó en un nivel mínimo de dependencia de insumos de origen externo y la mayor parte (63%) se ubicó en un rango de dependencia entre 10 y 30%.

Cuadro 36. *Distribución de frecuencias de la dependencia de insumos externos en el SPo*.

Dependencia de insumos externos en el SPo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[0.0 - 0.10)	6	0.14	6	0.14
[0.10-0.30)	27	0.63	33	0.77
[0.30-0.50)	8	0.19	41	0.95
[0.50-0.70)	1	0.02	42	0.98
[0.70-0.90)	1	0.02	43	1.00

En el Cuadro 37 se muestra la información correspondiente al SMo para este indicador, dentro de este grupo, solo el 9% se ubicó en un nivel de dependencia mínimo (menor a 10%), mientras que más de la mitad de los entrevistados presentaron un nivel de dependencia en un rango del 10 al 30% para poder producir cada ciclo agrícola.

Cuadro 37. *Distribución de frecuencias de la dependencia de insumos externos en el SMo*.

Dependencia de insumos externos en el SMo	Frecuencia absoluta (ni)	Frecuencia relativa (fi)	Frecuencia acumulada (Ni)	Frecuencia relativa acumulada (Fi)
[0.0 - 0.10)	2	0.09	2	0.09
[0.10-0.30)	12	0.55	14	0.64
[0.30-0.50)	1	0.05	15	0.68
[0.50-0.70)	0	0.00	15	0.68
[0.70-0.90)	6	0.27	21	0.95
[0.90-1.0]	1	0.05	22	1.00

Como se observa en el gráfico tipo ojiva (Figura 37), cerca del 80% de entrevistados del SPo y 64% de los productores entrevistados del SMo, presentan un nivel de dependencia de insumos externos menor al 30%.

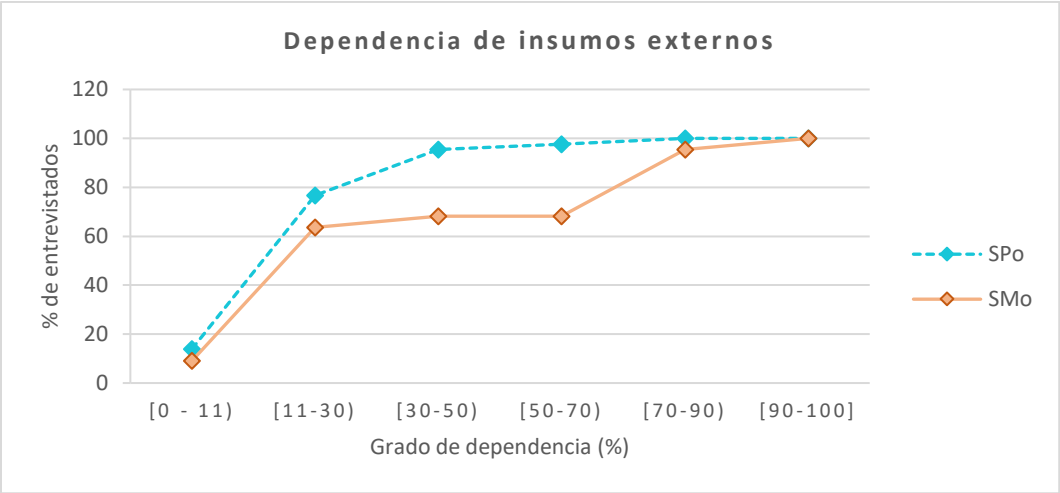

***Figura 37**. Dependencia de insumos externos en los SMRN*

6.5. Paso 5. Presentación e integración de resultados

Para poder integrar y sintetizar adecuadamente la información obtenida con el monitoreo de indicadores, es importante desarrollar los siguientes pasos:

- Agrupar los resultados obtenidos por indicador y sistema en una matriz de datos, con los indicadores en su unidad original.
- Determinar valores de referencia para cada indicador.
- Construir índices por indicador a partir de los valores de referencia o umbrales. Estos índices pueden partir de información de base tanto cualitativa (variables categóricas) como cuantitativa (variables numéricas).
- Presentar los resultados, mediante gráficas o tablas, utilizando técnicas de análisis multicriterio.
- Analizar las relaciones y efectos de retroalimentación positivos o negativos entre los distintos indicadores.

En la integración de resultados se debe determinar el nivel de desempeño de los sistemas de manejo para cada indicador, a fin de determinar sus ventajas comparativas; para realizar dicha comparación se propusieron los valores óptimos a través de los criterios que se exponen en el Cuadro 38.

Cuadro 38. *Atributos, indicadores, valores óptimos y comparación de resultados de la evaluación de indicadores de sustentabilidad.*

				Valor actual calculado			
Atributo	**Indicador**	**Criterio para el óptimo**	**Valor óptimo (100%)**	**SPo**	**%**	**SMo**	**%**
Productividad	1. Rendimiento de maíz	Rendimiento promedio del policultivo maíz, frijol y calabaza bajo manejo agroecológico [8]	4.5 t ha^{-1} (100)	1.8	**40**	1.2	**27**
	2. Cantidad de grano y zacate cosechado	Rendimiento de maíz y rastrojo para variedades criollas de maíz de temporal [9]	6.22 t ha^{-1} (100)	3.8	**74**	2.7	**43**
	3. % de familias que disponen de una actividad ganadera	Máximo número de familias por sistema de manejo que realizan una actividad ganadera[10]	100% (100)	95	**95**	100	**100**
	4. Ingresos por venta de animales por sistema de manejo ($) por año	Media del ingreso anual por venta de animales a nivel local	30,434 (100)	20,184	**66**	30,434	**100**
	5. Relación B/C (Beneficio/Costo) por ha	Se considera que existe rentabilidad cuando B/C ≥1.0[11]	1.0 (100)	1.2	**100**	1.1	**100**
	6. Uso equivalente de la tierra (UET)	Si el valor del UET > 1: existe ventaja en la producción en asociación de cultivos[12]	1.5 (100)	1.9	**100**	1.0	**66**
	7. Porcentaje de empleos permanentes por familia	Valor máximo de empleos permanentes por unidad familiar dentro del sistema.	100% (100)	44.2	**44.2**	44.6	**44.6**
Estabilidad, resiliencia	8. Índice de prácticas agroecológicas	Valor máximo posible en relación con el total de prácticas registradas	1 (100)	0.52	**52**	0.32	**32**

[8]Se tomó como valor de referencia el rendimiento reportado por Ebel *et al.* (2017) para el policultivo maíz, frijol y calabaza.

[9] Debido a la falta de información de la zona de estudio se estableció como valor óptimo el reportado por Muñoz-Tlahuiz et al. (2013), como resultado de la suma de la cosecha de grano y zacate en Libres, Puebla.

[10] A falta de información directa de la zona de estudio se propuso como valor óptimo el 100% de familias de cada sistema.

[11] De acuerdo con el criterio formal de selección de los proyectos de inversión basados en este indicador, se acepta el proyecto o se cataloga como rentable si la B/C es mayor que uno (Muñante, 2002).

[12] De acuerdo con la metodología de Mead y Willey (1980), si el valor del UET de una asociación es inferior a 1, se presenta una desventaja en la producción en asociación; al ser igual a 1, no hay diferencia o ventaja; y si es mayor de 1, hay ventaja en la producción de la asociación.

	9. Propiedades fisicoquímicas del suelo	Valor más cercano al nivel óptimo de cada propiedad analizada	(1) 100	0.72	**72**	0.65	**65**
	10. IDA: Índice de agrobiodiversidad	Si el valor del IDA > 0.66 el sistema presenta sostenibilidad[13]	0.66 (100)	0.6	**86**	0.4	**64**
Adaptabilidad (flexibilidad)	11. Índice de adopción de nuevas técnicas (apropiación de innovaciones tecnológicas)	Valor máximo posible en relación con el total de innovaciones identificadas	1 (100)	0.32	**32**	0.36	**36**
	12. Índice de técnicas ancestrales en uso	Valor máximo posible en relación con el total de técnicas ancestrales registradas	1 (100)	0.48	**48**	0.53	**53**
Equidad	13. Índice de relevo intergeneracional: Participación de integrantes más jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema.	Proporción máxima de jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema	1 (100)	0.5	**50**	0.4	**40**
Autodependencia (Autogestión)	14. Dependencia de insumos externos	Que la dependencia de insumos del exterior sea mínima[14]	0 (100)	0.22	**78**	0.23	**77**

Derivado de la medición de los indicadores y partiendo de la información presentada en el cuadro anterior se realizó el gráfico tipo "ameba", que se muestra a continuación (Figura 38), en el cual se observa a nivel general que el SPo tiene una mayor tendencia hacia un manejo sustentable por el área delimitada por la línea punteada azul, pues destacó en cinco de los catorce indicadores evaluados: Rendimiento por sistema, zacate y grano de maíz cosechado, uso equivalente de la tierra, índice de prácticas agroecológicas, propiedades fisicoquímicas del suelo, índice de agrobiodiversidad e índice de relevo intergeneracional, esto tiene estrecha relación con los principios básicos de la agroecología (eficiencia, diversidad, sinergias, regulación natural y reciclaje), pero también con principios sociales, políticos y económicos

[13] Leyva y Lores (2012) señalan que valores del IDA por debajo de 0.66 no se consideran sostenibles, siendo 1.0 el valor máximo posible a obtener.
[14] Para el caso del indicador Dependencia de insumos los valores de los agroecosistemas evaluados respecto al óptimo se expresaron en términos de independencia de insumos del exterior.

relacionados a dicho concepto (Barrios *et al.*, 2020), como se refleja en un mayor número de prácticas agroecológicas practicadas en el grupo del SPo.

Por otro lado, el SMo destacó en el indicador ingresos anuales por venta de animales, esto no representa solo un beneficio económico para las familias campesinas sino como ya se describió anteriormente, juega un papel importante en la soberanía alimentaria, pues las comunidades tienen la oportunidad de producir sus propios alimentos a través de la cría de animales, fortaleciendo su autonomía, esto se relaciona con el derecho de las personas a acceder a una alimentación sana y culturalmente apropiada, producida de forma sustentable, así como el derecho de las comunidades a definir su propio sistema agroalimentario tal como señalan Bello *et al.* (2020).

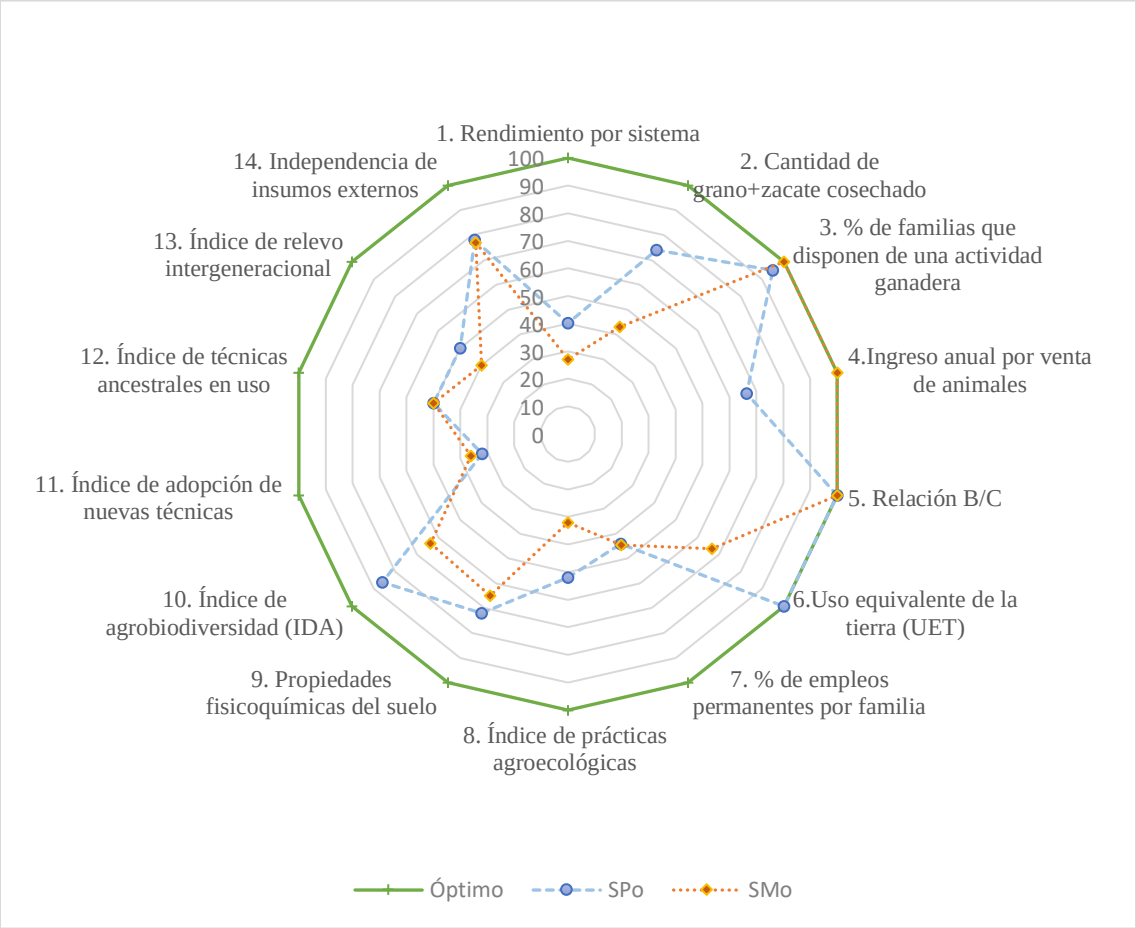

Figura 38. *Gráfica tipo ameba de los sistemas de manejo evaluados*

Análisis de comparación de medias

Se realizó una prueba t de Welch, para muestras independientes en el lenguaje de programación R versión 4.2.2 (R Core Team, 2014), la cual tiene la característica de ser robusta cuando el tamaño de muestra es diferente y la varianza no es igual (Derrick *et al*., 2016), se observaron diferencias estadísticamente significativas en los indicadores: Rendimiento por sistema, cantidad de grano y zacate cosechado, uso equivalente de la tierra, índice de prácticas agroecológicas, e índice de agrobiodiversidad (Cuadro 39).

Cuadro 39. *Prueba t de Welch para muestras independientes*

Variable	Grupo	Promedio	Desviación estándar	Estadístico t	p valor
Rendimiento por sistema	SPo	1.8	0.7	-4.6	0.00***
	SMo	1.2	0.3		
Cantidad de grano y zacate cosechado	SPo	3.8	1.8	-3.9	0.00***
	SMo	2.7	0.6		
Ingreso anual por venta de animales	SPo	20,184.2	17,321.3	1.76	0.15
	SMo	30,434.3	24,288.7		
Relación B/C	SPo	1.2	0.5	-0.0928	0.94
	SMo	1.1	0.8		
Uso equivalente de la tierra (UET)	SPo	1.9	0.9	-6.25	0.00***
	SMo	1.0	0.2		
Proporción de empleos permanentes por familia	SPo	44.2	23.6	0.0745	0.94
	SMo	44.6	23.7		
Índice de prácticas agroecológicas (IPA)	SPo	0.5	0.1	-8.18	0.00***
	SMo	0.3	0.1		
Índice de agrobiodiversidad (IDA)	SPo	0.6	0.0	-11	0.00***
	SMo	0.4	0.1		
Índice de adopción de innovaciones	SPo	0.3	0.4	0.38	0.85
	SMo	0.4	0.5		
Índice de técnicas ancestrales en uso	SPo	0.5	0.2	1.14	0.35
	SMo	0.5	0.2		
Relevo intergeneracional	SPo	0.5	0.4	-1.15	0.35
	SMo	0.4	0.3		
Independencia de insumos externos	SPo	0.2	0.1	2.76	0.02*
	SMo	0.2	0.3		

(*) para P < 0.05, (**) para P < 0.01, (***) <0.001.

Discusión

1) Atributo productividad

Para el análisis del indicador Rendimiento de grano de maíz se propuso como valor óptimo el rendimiento reportado por Flores *et al.* (2014) para zonas de temporal con potencial productivo del estado de Puebla, mismo que se logró bajo un esquema de capacitación y

servicios de tecnología, crédito y seguro agrícola a pequeños productores quienes pasaron de producir en promedio 1,300 kg a 3,100 kg de maíz.

Existen diversos factores asociados al comportamiento del rendimiento de los cultivos, de los cuales se puede destacar los factores que pueden ser controlados, como la nutrición, la densidad de siembra, y la selección de la semilla, y, por otro lado, los factores que no se pueden controlar, y son principalmente aquellos relacionados con el clima. Flores *et al*. (2014) señalan que existe un déficit de rendimiento entre los pequeños y medianos productores de maíz de temporal, destacando como principales causas el bajo acceso a créditos formales, al riego, y la desatención en el aspecto de servicios de extensionismo rural al menos desde la última década del siglo pasado. González-Flores *et al*. (2020) señalan que existe un aumento en el rendimiento de maíz asociado a la implementación de tecnología, de fertilizantes y pesticidas, sin dejar de lado el aumento en los costos de producción dado el alto precio de los insumos, y costos variables de renta, mantenimiento y renovación de maquinaria. Avalos-Rangel *et al.* (2021), sostienen que el desempeño del sistema milpa podría verse comprometido debido a inapropiadas prácticas agrícolas.

Un estudio realizado en el Municipio de Libres, Puebla, zona cercana al área de estudio, muestra un intervalo de rendimiento de grano seco para variedades locales de temporal que va desde 1,350 a 3,252 kg ha^{-1}, en este estudio, el intervalo de rendimiento del SPo va desde 500 a 3,000 kg ha^{-1}, y para el SMo, se observa un intervalo más cerrado, que va desde los 500 kg hasta los 1,700 kg ha^{-1}. La diferencia puede atribuirse a distintos factores, como la misma variedad utilizada y su nivel de adaptación, así como factores agroclimáticos como las temperaturas, la radiación solar y la disponibilidad de agua.

Por su parte, Novotny *et al*. (2021) destacan el rol del cultivo intercalado tradicional en la nutrición, señalando que los sistemas milpa proveen a más personas por hectárea de un conjunto de nutrientes y vitaminas que los monocultivos de maíz o frijol, con excepción de zin y vitaminas A, C, B 9 y B12 y dependiendo del tipo de policultivo y su rendimiento, el sistema milpa podría brindar de suficiencia nutricional hasta a tres personas por hectárea. Novotny *et al.* (2021) mencionan que el sistema milpa en México ha ido en decremento, y que esto afecta negativamente a las comunidades en términos de seguridad alimentaria, soberanía alimentaria y autosuficiencia nutricional.

Tomando en cuenta que la mayor parte de la producción es de autoconsumo, los datos obtenidos tienen relación con datos reportados por el SIAP-SAGARPA (2021), el rendimiento promedio del productor de autoconsumo está alrededor de 1.02 t ha^{-1}, mientras el rendimiento promedio de zonas productoras tecnificadas y con un uso alto de tecnología es de 8 t ha^{-1}. Montesillo-Cedillo (2016), puntualiza que la producción de maíz de temporal tiene costos sociales y ambientales más bajos, al menos en términos de agua, por lo cual debería existir apoyo en materia de políticas públicas para esta forma de producción.

La media de la cantidad de rastrojo y grano de maíz cosechado fue de 3.8 t ha^{-1} en el SPo y de 2.7 t ha^{-1} en el SMo, obteniendo una puntuación de 74% y 43% respectivamente, con relación al valor óptimo de 6.22 t h. Dichos resultados coinciden con los reportados por Sánchez y Romero (2017), donde el sistema más favorecido fue el Sistema milpa tradicional.

Por su lado, Astier *et al.* (2003) reportan una biomasa de 5.2 t ha^{-1} en un Sistema Tradicional que presenta algunas asociaciones de cultivo, pero predomina el monocultivo de maíces criollos y 6.5 t ha^{-1} en un sistema tradicional diversificado en el que se cultiva maíz en policultivo principalmente con frijol además de una rotación con chícharo para producir forraje y como método para conservar el suelo. Lo anterior coincide proporcionalmente con lo observado en el SPo y el SMo.

En un estudio realizado en los valles altos de Libres, Puebla, Muñoz-Tlahuiz *et al.* (2013), evaluaron la producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz de temporal, los resultados mostraron una variación en la producción de materia seca, de 2.14 a 6.22 t ha^{-1}. La media de la cantidad de rastrojo y grano en el SPo fue de 3.72 t ha^{-1}, y para el SMo de 2.85 t ha^{-1}, estos rendimientos se encuentran dentro del rango reportado por Muñoz-Tlahuiz *et al.* (2013), para variedades locales. Muñoz-Tlahuiz *et al.* (2013) señalan que, no todas las variedades locales son altas productoras de rastrojo, las variedades sobresalientes en esta característica son de ciclo tardío, lo cual se asocia a un mayor tiempo de acumulación de materia seca. De acuerdo con los resultados arrojados en este indicador y en los mismos trabajos citados anteriormente, se puede observar una tendencia, que los agroecosistemas entre más diversificados sean, mayor es la disponibilidad de biomasa cosechada, sin embargo, para que esto sea posible, es necesario implementar estrategias de diversificación, lo cual implica costos de inversión en semilla y mano de obra, Astier *et al.* (2003) mencionan

respecto a este punto, que el nivel de inversión para poder establecer el cultivo de chícharo y frijol (que refieren en el sistema tradicional diversificado de su estudio), es elevado, y eso representa una limitación importante, aunque a la larga los beneficios económicos y ambientales son muy alentadores, por lo tanto, asumen que sin apoyo económico es muy difícil que los agricultores adopten este tipo de cultivos espontáneamente.

Además del aspecto de la diversificación en el agroecosistema, y su importante rol en la disponibilidad de biomasa, existen otros factores agroclimáticos que pueden limitar de forma importante la productividad de los cultivos, como lo es el estrés hídrico, que se define como la extracción de una cantidad excesiva de agua dulce procedente de fuentes naturales en comparación con los recursos de agua dulce disponibles, diferentes estudios realizados bajo condiciones de campo, muestran como el estrés hídrico provocado por la poca disponibilidad de agua en el suelo en condiciones de temporal) durante el periodo de llenado de grano en, en otros cereales como la cebada y el trigo, disminuye la tasa de fotosíntesis y el potencial hídrico foliar del cultivo en cuestión, así como también disminuye la disponibilidad de asimilados provenientes de la fotosíntesis lo que a su vez reduce la duración del llenado de grano, disminuyendo también el número de granos, asimismo, se atribuye a este factor la reducción de la conductancia estomática (hasta en un 43%), y la tasa de asimilación neta (hasta 34%), todo esto se traduce en una fuerte reducción del rendimiento en el grano (27%), (López-Castañeda, 2011). Lo anterior tiene relación con el contexto ambiental del agroecosistema de maíz en monocultivo y policultivo de la zona de estudio, ya que al menos el 30 por ciento de los entrevistados refirieron problemas de humedad en sus parcelas, mismos que ellos asocian de forma directa con los bajos rendimientos, aunados a problemas de fertilidad. Asimismo, López-Castañeda (2011) menciona que para zonas de temporal que presentan problemas de sequía, el estrés hídrico tiene efectos muy severos en los siguientes factores del rendimiento: 1) capacidad fotosintética; 2) capacidad de removilización de reservas del tallo al grano; y 3) número y tamaño de granos, específicamente durante las etapas de floración y llenado de grano, adicional a esto, sugiere que existe una relación positiva y significativa de la producción de biomasa aérea con el número de granos m^{-2} tanto para condiciones de riego, temporal y sequía, por lo que se puede decir, que los genotipos con mayor biomasa aérea y mayor cantidad de granos m^{-2} producen mayor rendimiento de grano.

En cuanto a la relación B/C, el promedio de la relación beneficio/costo fue de 1.2 (SPo), y 1.1 (SMo), con menor ganancia, los resultados coinciden con lo encontrado por Uzcanga-Pérez *et al*., (2022), quienes obtuvieron una relación beneficio/costo de 1.7 (sistema convencional) y 1.5 (sistema tradicional), otros autores como Ramírez *et al*. (2018) señalan que al incluir el costo de la tierra y la mano de obra no se obtienen sino pérdidas al analizar la relación beneficio/costo, por lo que sostienen que el cultivo de maíz ha dejado de ser rentable, lo que a su vez ha generado abandono de tierras. Como valor óptimo para la relación beneficio/costo se estableció 1.0 (Muñante, 2002), respecto a dicho valor, los sistemas de manejo obtuvieron puntuaciones de 100% respectivamente, sin embargo, cerca del 40% de productores de cada grupo reportan una relación beneficio/costo por debajo de 1, lo que quiere decir que el cultivo de maíz no representa para dichas familias una actividad rentable desde el punto de vista económico, sin embargo, es importante considerar los demás factores en torno al cultivo de maíz, como los socioculturales, pues los campesinos refieren que a pesar de que no obtengan ganancias económicas importantes, persisten en dicha actividad por la conservación del maíz de varias generaciones, además, para asegurar un auto abasto de este cereal, base de la alimentación, a lo largo del año, aunque en ocasiones en que cosechan menos de lo esperado este objetivo no se cumple; por otro lado, subyace una cuestión de preferencias alimenticias, pues el maíz blanco, como el azul, se usan principalmente para la alimentación humana, mientras que el maíz amarillo para la engorda de aves de corral y cerdos.

Para el indicador Uso Equivalente de la Tierra (UET), las asociaciones más productivas fueron: maíz-haba y maíz-calabaza-frijol, con un valor de UET de 2 y maíz-frijol con UET de 1.5, esto coincide con lo reportado por Ebel *et al.* (2017:158), donde la asociación más productiva fue maíz-frijol, lo cual atribuyen a sinergias altamente funcionales entre estos cultivos, por otro lado señalan que la combinación maíz-frijol-calabaza bajo un manejo adecuado genera sobrecosecha ya que con cultivos adaptados a la convivencia, puesto que fueron domesticados como policultivos. Con esta base se propuso como valor óptimo para el UET = 1.5 en el cual se produce 50% más que en la misma superficie destinada al monocultivo, respecto a este valor, los sistemas de manejo obtuvieron puntajes de 100% (SPo) y 66% (SMo).

2) Atributo Estabilidad, resiliencia y confiabilidad

Uno de los elementos más limitantes en la producción de cultivos es el nitrógeno, de ahí la importancia de su estudio y monitoreo en el suelo, en los últimos años este elemento químico se ha relacionado a problemas de impacto ambiental, debido al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, lo cual a su vez provoca desnitrificación, contribuyendo a las emisiones terrestres de N_2O, y por otro lado, la lixiviación que contamina aguas subterráneas, estos dos procesos están favorecidos por el incremento de las cantidades de fertilizantes minerales nitrogenados empleados en la producción (Cristóbal-Acevedo *et al*., 2011). En el Cuadro 40 se muestran los valores óptimos para las propiedades fisicoquímicas del suelo bajo el contexto del cultivo de maíz en un esquema más sustentable, asimismo se muestra la comparación con los sistemas evaluados.

Cuadro 40. *Valores óptimos para las propiedades fisicoquímicas del suelo.*

			SMo		SPo	
Parámetro	**Unidad**	**Valor óptimo**	**Valor**	**Proporción**	**Valor**	**Proporción**
CE	dS m^{-1}	< 1.0[15]	0.3	1	0.34	1
pH	Escala 0-14	7.5[16]	7.9	0.97	7.8	0.94
M.O.	%	13.5[17]	8.8	0.65	9.3	0.69
N	mg kg^{-1}	220[18]	132	0.60	144	0.65
P	ppm	24[19]	2.5	0.10	1.0	0.04
K	ppm	175	21.8	0.12	27.2	0.16
Ca	ppm	220	128.3	0.58	143.2	0.65
Mg	ppm	180	129.8	0.72	188.3	1.05
RAS	Mmol L^{-1}	<3	0.2	1.0	0.2	1.0
CIC	Cmol (+) Kg^{-1}	25[20]	17.7	0.71	26.9	1.0
Promedio				0.65		0.72

[15] Cuando CE < 1.0 dS m^{-1} los efectos de la salinidad en el suelo son despreciables (NOM-021-RECNAT-2000).
[16] Los límites de pH entre los que la nitrificación tiene lugar se sitúan entre 5.5 y 8.0 con un óptimo entre 6.9 y 7.5 (Benimeli *et al*., 2019).
[17] De acuerdo con los valores de referencia planteados en la NOM-021-RECNAT-2000 para la clasificación de los contenidos de materia orgánica en suelos de origen volcánico.
[18] El valor de N se tomó del trabajo realizado por Benintende *et al.* (2008) reportado en suelos con labranza mínima.
[19] Los valores óptimos de P y K fueron tomados de la Guía de fertilidad de suelos y la nutrición vegetal en producción integrada (Villar y Villar, 2016).
[20] La reserva nutrimental se considera abundante cuando la CIC es mayor de 25 Cmol (+) Kg^{-1} de suelo (NOM-021-RECNAT-2000).

A pesar de que las propiedades fisicoquímicas del suelo dan una visión general del estado del suelo, es importante tomar en cuenta el aspecto biológico, ya que está relacionado directamente con la fertilidad del suelo, un ejemplo de esto es el ciclo del nitrógeno del suelo que se relaciona con la actividad microbiana y fauna del suelo como las lombrices, nematodos, protozoarios, hongos, bacterias y artrópodos, por otro lado, los organismos del suelo descomponen la materia orgánica preveniente de restos vegetales y animales liberando a su vez nutrientes para ser asimilados por las plantas. Asimismo, los nutrientes almacenados dentro de organismos del suelo impiden su pérdida por lixiviación. Los microorganismos del suelo mantienen la estructura mientras las lombrices remueven el suelo favoreciendo la oxigenación (FAO, 2015), por todo esto, es necesario integrar el análisis de las propiedades biológicas en la determinación de la calidad del suelo.

3) Atributo Adaptabilidad (flexibilidad)

En el indicador Adopción de innovaciones se reportó un conjunto de ocho prácticas innovadoras promovidas encaminadas a la nutrición de cultivos y al manejo agronómico principalmente, autores como Pérez-Guel *et al.* (2016) reportaron el análisis de un paquete de 29 prácticas innovadoras en el estado de Guerrero, incluyendo las categorías mencionadas y además, las categorías de: organización, administración, tecnología de postcosecha, mercado y financiamiento, que son parte de un programa de modernización sustentable, dichos autores sugieren reducir el universo de innovaciones a solo las que tienen mayor peso entre los productores. Tomando en cuenta que la mayoría de los productores se ubicó en un nivel Muy bajo y Bajo de innovación, lo cual coincide con lo encontrado en este trabajo, puesto que en el caso del SPo 74% de los productores se ubicó dentro de esas mismas categorías, y en el caso del SMo, el 69% de los productores.

Por otro lado, Orozco *et al.* (2009) señalan que las variables que más influyen en la adopción de innovaciones son: cambio cognitivo, contacto con instituciones agropecuarias, participación en proyectos externos, contacto con distribuidores de insumos, edad, escolaridad, actitud hacia la innovación, exposición a medios de comunicación, ingresos, nivel de vida, nivel de capacitación, recursos económicos disponibles, relación con agentes de cambio, hectáreas cultivadas, ambiente agroclimático, años de vivir en el lugar de residencia, y relevancia de la tecnología.

4) Atributo Equidad

De acuerdo con un estudio publicado por la FAO-SAGARPA (2014) en el sector rural predominan responsables mayores de 55 años, aunque en el subsector agrícola los responsables son más longevos, esto se asocia a un proceso de transición demográfica como resultado de una disminución en la tasa de fecundidad, el crecimiento de la esperanza de vida de la población y la migración, esta situación supone un reto complejo en los próximos años para mantener el nivel de producción actual, aunado a esto, existen pocos incentivos para que los integrantes más jóvenes permanezcan en este sector productivo.

La edad promedio de los responsables de las unidades productivas en el sector agrícola se estima en 54.7 años (FAO-SAGARPA, 2014), esto coincide con lo reportado por los entrevistados, con un promedio de 51 años en el SPo y 54 años en el SMo.

En el indicador relevo intergeneracional, ambos sistemas de manejo presentaron un nivel medio, destacando más la participación de los hombres en este relevo, que la de las mujeres, en este contexto autores como Conway *et al.* (2019) sostienen que la población dedicada a la agricultura está envejeciendo y en general de la población rural, y ante este fenómeno es necesario el desarrollo de incentivos para estimular y atraer diferentes formas de transferencia de la agricultura familiar, bajo un entorno en el que los jóvenes puedan acceder a activos productivos y eventualmente mejorar la competitividad del sector agrícola.

Aunque de forma general, en las unidades productivas se da el autoempleo, la migración a zonas urbanas representa un impedimento en el relevo intergeneracional, además del cambio de empleo, tal es el caso de integrantes jóvenes dedicados a la industria maquiladora en estos espacios rurales, quienes contribuyen invirtiendo parte de sus salarios en la producción del campo y también combinan las actividades del campo con sus jornadas en los talleres de maquila. Respecto a este punto, Gregorio-Fernández (2018) señala que la presencia de la industria textil en años anteriores 2000 generó una interacción constante entre el trabajo agrícola y el trabajo asalariado, en la que el empleo de obreros en la industria en vez de desplazar la actividad agrícola, la complementó, no siendo del mismo modo en años recientes, donde la expansión de la maquiladora textil hizo que el trabajo asalariado se impusiera ante el trabajo agrícola, asimismo, este autor sostiene que una de las razones es el fácil acceso a este mercado laboral el cual no exige estudios básicos para poder integrarse.

5) Atributo Autodependencia (Autogestión)

En el indicador Dependencia de insumos externos se detallaron los principales insumos empleados en la producción agrícola, empezando por las semillas, mismas que constituyen la base de la agricultura, en este punto, Llamas-Guzmán (2020) resalta que una parte importante de las siembras a nivel mundial se lleva a cabo con semillas que los mismos agricultores seleccionan y guardan en cada ciclo agrícola, mismos que desarrollan un proceso de selección basado en distintos criterios de tamaño, color, y sabor, lo que resulta en una gran diversidad de variedades locales. Cabe destacar que los entrevistados de los dos sistemas de manejo en su totalidad siguen este proceso de selección y conservación de las semillas, por lo cual no dependen del exterior para los ciclos posteriores, por otro lado, se reporta también un intercambio de variedades que se practica a voluntad con los vecinos o familiares a manera de renovar, recuperar, o introducir nuevas variedades, como señala Llamas-Guzmán (2020).

Otro de los insumos principales para la producción es el fertilizante, que como se mencionó anteriormente puede ser orgánico y de origen local, es decir, el estiércol generado dentro del mismo subsistema pecuario, y, por otro lado, los fertilizantes sintéticos, de los cuales se prioriza aquellos cuyo contenido sea alto en N, tal es el caso de la urea (46-00-00), que es el que se utiliza con más frecuencia y en mayor cantidad en comparación con los demás fertilizantes reportados como el fosfato diamónico (18-46-00) y el fosfato monopotásico (00-52-34).

Uno de los problemas asociados con este tipo de dependencia de insumos es el aumento de precios sin precedentes que se ha experimentado desde el 2021, de acuerdo con datos el Banco Mundial (2022) se registró un aumento de 163.9 por ciento en fertilizantes nitrogenados, y se espera que los precios de la urea se mantengan en niveles históricamente altos mientras los precios del gas natural y el carbón se mantengan elevados, asimismo, se proyecta que los precios de DAP se mantengan altos hasta que los precios del amoníaco y el azufre disminuyan, lo que afecta por igual a agricultores y consumidores en zonas rurales y urbanas.

6.6. Paso 6. Conclusiones y recomendaciones

6.6.1. Conclusiones

1. El SPo obtuvo 68 puntos porcentuales, mientras que el SMo obtuvo 60, en relación con los niveles óptimos establecidos para la serie de indicadores evaluados. Con esta base se destaca la importancia de revalorizar este tipo de agroecosistemas campesinos, en los cuales se hace un uso más eficiente de los recursos naturales, y cuyo potencial productivo fortalece la soberanía alimentaria de las familias en el medio rural
2. Ambos agroecosistemas presentaron similitudes en los seis indicadores evaluados asociados al componente social: Porcentaje de familias que disponen de una actividad ganadera, porcentaje de empleos permanentes por familia, índice de adopción de nuevas técnicas, índice de técnicas ancestrales en uso, e índice de relevo intergeneracional y dependencia de insumos externos.
3. El SPo obtuvo su valor más bajo en el Índice de adopción de nuevas técnicas, puesto que presentó un nivel de innovación muy bajo, similar al reportado por los entrevistados del SMo, y en este punto cabe señalar que el esquema de capacitación que se sigue dentro de la zona de estudio ha sido bajo el esquema del extensionismo rural tradicional, basado en la difusión de tecnologías generadas por expertos, por medio de extensionistas profesionales pertenecientes a instituciones gubernamentales.
4. En el aspecto económico, las diferencias se acentuaron en el indicador ingresos por venta de animales por sistema de manejo por año, puesto que entre los integrantes del SMo, la actividad pecuaria tiene mayor peso comercial, mientras que en el SPo es una actividad complementaria que genera ingresos extra y ayuda a diversificar la dieta de la familia. Por otro lado, la relación B/C fue similar en los dos sistemas de manejo, y se observa que el cultivo de maíz bajo el esquema actual presenta baja rentabilidad para un porcentaje importante de las familias, entre otros factores, debido a altos costos de producción ligado a su vez al alza en los precios de combustibles y fertilizantes.
5. Respecto al área ambiental, en el SPo se conservan un mayor número de prácticas agroecológicas, y se realiza un uso más eficiente del recurso suelo, además las

propiedades fisicoquímicas del suelo presentaron valores más cercanos a los óptimos reportados en la literatura, asimismo, dicho sistema de manejo presentó un índice de agrobiodiversidad superior.

6. Desde la perspectiva holística de la agroecología, se puede apreciar cómo interactúan los aspectos sociales, ambientales y económicos en la dinámica de la sustentabilidad. Es evidente que estos componentes de diferente naturaleza están estrechamente relacionados. Un ejemplo de esto es la influencia de la baja innovación en la productividad y, a su vez, el impacto negativo de una baja productividad en el abandono de la actividad. Esta situación se refleja en la falta de relevo intergeneracional en la agricultura y en el cambio de la actividad económica de las familias campesinas.

6.6.2. Recomendaciones

1. Es evidente la necesidad de incrementar prácticas agroecológicas, sobre todo aquellas relacionadas con la conservación del suelo y el agua, y que favorecen la biodiversidad del agroecosistema, y el aumento de las interacciones entre cultivos, asimismo se requieren esfuerzos encaminados al monitoreo de nitrógeno a lo largo del ciclo de cultivo, lo cual es de gran ayuda para planificar la nutrición de los cultivos.
2. Aunque la orientación de las capacitaciones reportadas es primordial para mejorar el estado de los agroecosistemas, también es importante prestar atención a aspectos como la organización y administración de recursos, tecnologías de postcosecha, mercado, financiamiento y crédito agrícola. Sin dejar de lado las necesidades de los productores, su experiencia y conocimientos. Se considera pertinente la reproducción de metodologías de capacitación con bases pedagógicas como el diálogo de saberes y los intercambios de conocimientos como el de Campesino a Campesino con el objetivo de promover una agricultura familiar más sustentable.
3. Una herramienta de formación y capacitación, desde la práctica local son los “faros agroecológicos”, por lo cual se recomienda en el mediano plazo la conformación de un centro de este tipo como estrategia para la socialización de prácticas agroecológicas entre los productores de la zona.

4. Ante la evidencia existente sobre el envejecimiento de la población dedicada a la agricultura, es necesario el desarrollo de incentivos para estimular la transferencia de las distintas formas de la agricultura familiar, bajo un entorno en el que los jóvenes puedan acceder a activos productivos y eventualmente mejorar la competitividad del sector agrícola.
5. Las labores en las unidades campesinas de producción familiar requieren abordarse mediante un enfoque de género para futuros ciclos de evaluación, ya que las mujeres son a menudo una fuerza laboral no remunerada, asimismo se considera pertinente que a través de procesos participativos se visibilice el rol fundamental de la mujer en la producción de alimentos y en la ganadería familiar, así como su importancia en la conservación de la biodiversidad y el patrimonio biocultural.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M. A., y Toledo V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies* 38(3):587-612. http://dx.doi.org/10.1080/03066150.2011.582947

Aguilar-Barrojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco.* 11(1-2):333-338.

Albicette, M., Brasesco, R., y Chiappe, M. (2009). Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos en el litoral del Uruguay. *Agrociencia*, 13(1):48-68.

Alemán, S. T., Toral, J.N. y López, M.J. (2007). Evaluación de la sustentabilidad de dos sistemas de producción ovina en comunidades Tzotziles. En: Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en América Latina. Astier, M. y Hollands, J. Ed. Mundi-Prensa, México.

Altieri, M. y Nicholls, C. (2000). Agroecología, Teoría práctica para una agricultura sustentable. Red de formación ambiental para América Latina y el Caribe, Ciudad de México.

Altieri, M. y Nicholls, C. (2020). Agroecology and the emergence of a post COVID-19 agriculture. *Agriculture and Human values*, 37:525–526, doi: https://doi.org/10.1007/s10460-020-10043-7

Altieri, M., Nicholls, C., y Montalba, R. (2017). Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability*, 9(349):1-13, doi: 10.3390/su9030349.

Anderson, C.R., Bruil, J., Chappel, M.J., Kiss, C. y Pimbert, M.P. (2019). From Transition to Domains of Transformation: Getting to Sustainable and Just Food Systems through Agroecology. *Sustainability*, 11(19):5272. Doi: https://doi.org/10.3390/su11195272

Aquino-Rodríguez, E., Arroyo-Lara, A., Torres-Hernández, G., Riestra-Díaz, D., Gallardo-López, F. y López-Yáñez, B. (2003). El guajolote Criollo *(Meleagris gallopavo* L.) y

la ganadería familiar en la zona centro del estado de Veracruz. *Técnica Pecuaria en México*, 41(2):165-173.

Astier, M., Galván-Miyoshi, Y., y Masera, O. (2008). Retos para los análisis de sustentabilidad de los SMRN. En: Astier, M., Masera, O. y Galván-Miyoshi, Y. Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. 193 pp. Ed: Mundiprensa, Ciudad de México.

Astier, M., Pérez-Agis, E., Ortíz, T. y Mota, F. (2003). Sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz después de cinco años: el segundo ciclo de evaluación MESMIS. LEISA, *Revista de Agroecología*, 19(0):39-46.

Auzins, A., Geipele, I., y Stamure, I. (2013). Measuring Land-Use Efficiency in Land Management. *Advanced Materials Research.* 804:205-210. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.804.205.

Avalos-Rangel, M.A., Campbell, D.E., Reyes-López, D., Rueda-Luna, R.., Munguía-Pérez, R. y Huerta-Lara, M. (2021). The Environmental-Economic Performance of a Poblano Family Milpa System: An Emergy Evaluation. *Sustainability*, 13, 9425. doi: 10.3390/su13169425

Banco Mundial. (2022). Fertilizer prices expected to remain higher for longer. World Bank's Commodity Markets Outlook. Disponible en linea en: https://blogs.worldbank.org/opendata/fertilizer-prices-expected-remain-higher-longer

Barrios, E., Gemmill-Herren, B., Bicksler, A., Siliprandi, E., Brathwaite, R., Moller, S., Batello, C y Tittonell, P. (2020) The 10 Elements of Agroecology: enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives, *Ecosystems and People*, 16(1):230-247, doi: 10.1080/26395916.2020.1808705

Bautista-Cruz, A., Etchevers-Barra, J., del Castillo, R.F. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas*, 13(2):90-97.

Bello, B. E., Arce I. M., Parra V. M. R, y Gomes de Araujo, L. (2020). Lecciones sobre sistemas socioambientales locales y visiones locales de productores rurales para informar sobre políticas públicas para América Latina. *Regímenes socioambientales y visiones locales*, 21:437–461, doi: 10.1007 / 978-3-030-49767-5_21

Benimeli, M.F., Plascencia, A., Corbella, R., Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F., Fernández de Ullivari, F., J. (2019). El nitrógeno del suelo. Catedra de Edafología, Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado de: www.edafologia.org

Benintende, M.C., De Batista, J., Benintende, S., Saluzzio, M., Muller, C., y Sterren, M. (2008). Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 19(37):141-174.

Bover-Felices, K., Suárez-Hernández, J. (2020). Contribución del enfoque de la agroecología en el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas integrados. *Pastos y forrajes*. 43(2): 102-111.

Brookfield, H. y Stocking, M. (1999). Agrodiversity: Definition, Description and Design. *Global Environmental Change*. 9:77-80. Doi: 10.1016/S0959-3780(99)00004-7.

Caballero-Salinas, J., Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J., Silvestre-Valdez, J., López-Báez, W., y Jiménez-Trujillo, J. (2017). Competencia del uso del rastrojo de maíz en sistemas agropecuarios mixtos en Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agricolas, 8(1): 91-104. Doi: 10.29312/remexca.v8i1.74

Cadena, I., González, S.R., Cuevas, S.J., Riviello, F.M., y Ruiz, P.L. (2020). In situ conservation of agricultural biodiversity and the generation of projects in ejidos and communities in México. 24th International Congress on Project Management and Engineering, 04-11.

CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). (2018). La ganadería familiar en México: Un enfoque de sustentabilidad. México.

Cherubin, M.R., Chavarro-Bermeo, J. y Silva-Olaya, A. (2019). Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93(5):1741–1753, doi: 10.1007/s10457-018-0282-y

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2017). Regiones Hidrológicas Prioritarias: 76. Río Tecolutla. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_076.html

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2018). Criterios Generales para la Determinación de las Zonas de Atención Prioritaria. Recuperado el 5 de febrero de: https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Criterios-ZAP-2019.pdf.pdf

Contreras-Cruz, A., Sánchez-Morales, P., Romero-Arenas, O., Rivera-Tapia, J.A., y Parraguirre-Lezama, C. (2019). Prácticas agroecológicas y su influencia en la fertilidad del suelo en la región cafetalera de Xolotla, Puebla. *Acta Universitaria*, 29:1-16.

Contzen, S. y Forney, J. (2017). Family farming and gendered division of labour on the move: a typology of farming-family configurations. *Agriculture and Human Values*, 34:27-40.

Conway, S.F., McDonagh, J., Farrel, M., y Kinsella, A. (2019). Human dynamics and the intergenerational farm transfer process in later life: A roadmap for future generational renewal in agriculture policy. *International Journal of Agricultural Management*, 8(1):22-30.

Corbetta, P. (2007). Metodología y Técnicas de Investigación Social. Ed. McGraw-HILL Interamericana de España, S.A. España.

Cristóbal-Acevedo, D., Álvarez-Sánchez, M. E., Hernández-Acosta, E., Améndola-Massiotti, R., Cristóbal-Acevedo, D., Álvarez-Sánchez, M. E., Hernández-Acosta, E., y Améndola-Massiotti, R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3):325-332.

Delgadillo, P. y Delgado, B. (2007). Evaluación de la sustentabilidad de un Sistema basado en la implementación de prácticas de conservación de suelos en la comunidad de Chullpakasa, Bolivia. En: M. Astier, y J. Hollands (Ed). *Sustentabilidad y Campesinado. Seis Experiencias Agroecológicas en Latinoamérica* (262 pp). Ciudad de México, México: Mundiprensa.

Derrick, B., Deirdre, T., y White, P. 2016. Why Welch´s test is Type I error robust. *The Quantitativa Methods for Psychology*, 12(1):30-38.

DOF (Diario Oficial de la Federación). (2018). Decreto por el que se formula la Declaratoria de las Zonas de Atención Prioritaria para el año 2019. Recuperado el 10 de diciembre del 2019 de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5547481&fecha=28/12/2018

DOF (Diario Oficial de la Federación). (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Recuperado el 24 de noviembre del 2020 de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019

Ebel, R., Pozas-Cárdenas, J.G., Soria-Miranda, F., y Cruz-González, J. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2):149-160. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es

Espinoza-Dominguez, W., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A. y Torres-Rivera, A. (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1):57-70.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), IFAD (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola) y WFP (Programa Mundial de Alimentos). (2013). The State of Food Insecurity in the World 2013. The multiple dimensions of food security. Food and agriculture organization of the United Nations: Roma, 121 pp. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a-i3434e.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). El futuro de la alimentación y de la agricultura: Tendencias y desafíos. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2015). Agroecología para revertir la degradación del suelo y alcanzar la seguridad alimentaria. Recuperado de: https://www.fao.org/3/i4803e/i4803e.pdf

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). Los 10 elementos de la Agroecología: Guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. Disponible en: https://www.fao.org/3/i9037es/i9037es.pdf.

FAO-SAGARPA (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2014). Estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México. Ciudad de México. Recuperado de: https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-2-estudio-sobre-el-envejecimiento-de-la-poblacion-rural-en-mexico.pdf

FAO-SICIAV (Sistemas de información y cartografía sobre la inseguridad alimentaria y la vulnerabilidad). (2006). Indicadores de nutrición para el desarrollo. Roma. Disponible en: http://www.fao.org/3/y5773s/y5773s.pdf

Figueroa-Navarro, C., Etchevers-Barra, J. D., Velázquez-Martínez, A y Acosta-Mireles, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana* 23:57-64.

Flores, C. L., García, S. J., Mora, F. J., y Pérez, S. F. (2014). Producción de maíz (*Zea mays* L.) en el Estado de Puebla: un enfoque de equilibrio espacial para identificar las zonas productoras más competitivas. *Agricultura, sociedad y desarrollo,* 11(2):223-239.

Fonseca-Carreño, N.E., Martínez-Salazar, H.K., y Muñoz-Niño, Y.S. (2020). Evaluación de sustentabilidad en agroecosistemas campesinos en el Municipio de Cabrera, Provincia del Sumapaz. *Revista Pensamiento Udecino,* 4(1):1-21.

Galvan-Miyoshi, Y. (2008). Temas estratégicos en las evaluaciones de sustentabilidad. En: Astier, M., Masera, O. y Galván-Miyoshi, Y. Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. 41-55. Ed: Mundiprensa, Ciudad de México.

García-Aguilar, J.Á., Rodríguez-Ortiz, G. y Martínez-de la Cruz, J. (2015). Influencia de variables fisiográficas en la productividad de biomasa aérea en bosques mixtos. *Revista mexicana de agroecosistemas*, 2(2):87-98.

Gliessman, S. (2002). Importancia de los sistemas sostenibles para la producción de alimentos. Perturbación, sucesión y manejo de agroecosistemas. En: Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. LITOCAT, Turrialba, Costa Rica.

Gliessman, S.R. (1998). Agroecology, Ecological processes in sustainable agriculture, 249-267. United States of America: CRC Press.

Gliessman, S. (2020). Confronting COVID-19 with Agroecology. *Agroecology and Food Systems*, 44(9):1115-1117, doi: https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1791489

González, G., Torres, T., y Rueda, L. (2018). Riesgo de erosión en suelos del Ejido de Chignautla, Puebla. *Revista Iberoameriacana de ciencias*, 5(1):7-16.

González-Flores, S., Guajardo-Hernández, L., Almeraya-Quintero, X., Pérez-Hernández, L.M. y Sangerman-Jarquín, D. (2020). Evaluación de la sustentabilidad del cultivo de maíz en Villaflores y La Trinitaria, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7):1565-1578.

Gregorio-Fernández, A. (2018). Del surco a la costura. Entra la agricultura y el trabajo asalariado: Pluriactividad y desagrarización en dos localidades del municipio de Teziutlán, Puebla [Tesis de maestría, Centro de investigaciones y estudios superiores en Antropología Social]. Repositorio institucional- CIESAS.

Gutiérrez, B. y Martínez, R. (2010). El Plan de Acción para el Desarrollo Sustentable en las Instituciones de Educación Superior. Escenarios posibles. *Revista de la Educación Superior*, 2(154):111-132.

Hecht, S. (1999). La evolución del pensamiento agroecológico. En: Altieri, M., Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan-Comunidad, Montevideo.

Hernández, J., Gutiérrez, M., Ortíz, C., Sánchez, P., y Ángeles, E. (2017). Calidad de Andosoles en sistemas forestal, agroforestal y agrícola con diferentes manejos en Zacatlán, Puebla. *Terra Latinoamericana*, 35(2):179-189.

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Ed. McGraw Hill Interamericana, México.

Herrera, F; Velasco, C; Denen, H; Radulovich, R. (1994). Fundamentos de análisis económico: guía para investigación y extensión rural. Serie Técnica, Informe Técnico No. 228; CATIE. Turrialba, Costa Rica. 62 p.

Herrera-Pérez, L., Valtiera-Pacheco, E., y Ocampo-Fletes, I., Tornero-Campante, M., Hernández-Plascencia, J., y Rodríguez-Macías, R. (2017). Prácticas agroecológicas en *Agave tequilana* Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(18):3713-3726.

Holden, E., Linnerud, K., y Barandilla, D. (2017). The imperatives of Sustainable Development. *Sustainable Development*, 25(3):213-226, doi: https://doi.org/10.1002/sd.1647

Holt-Gimenez, E., y Altieri, M. (2013). Agroecology, Food Sovereignty, and the New Green Revolution.Agroecol. *Agroecology and Sustainable Food Systems*., 37:90–102, doi: 10.1080/10440046.2012.716388

Hunter, M., Smith, R., Schipanski, M., Atwood, L., y Mortensen, D. (2017). Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. *BioScience*, 67(4):386-391.

INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). (2010). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: Estado de Puebla. http Recuperado el 11 de noviembre de ://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21054a.html

INEE. 2016. Panorama educativo de México: ¿En qué medida el sistema educativo nacional cubre la necesidad social de educación? Recuperado de: https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/03/CS03c-2017.pdf

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (1987). Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del Estado de Puebla.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (1998). La ganadería familiar en México. Recuperado de: http://en.www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118525/702825118525_2.pdf

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2007). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). Censo de población y vivienda.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). Chignautla: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública. Data México. Recuperado 20 de mayo de 2023, de https://datamexico.org/es/profile/geo/chignautla

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2022). Marco Geoestadístico Nacional 2022. Disponible en línea en: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541

IPCC (Intergovernamental Panel on Climate Change). (2014). Cambio climático 2014, Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza.

IPCC (Intergovernamental Panel on Climate Change). (2019). Food Security. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate, change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Recuperado el 05 de febrero de: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/08_Chapter-5.pdf

Jiménez, M.A. (2005). El campo en Puebla, entre el desarrollo ideal y lo posible. Recuperado el 4 de noviembre de 2020 de: http://www.jimenezmerino.com.mx/libros/ElcampoenPuebla.pdf

Jones, N., Malesios, C., Aloupi, M., Proikaki, M., Tsali, T., Dimitrakopoulos, P.G., Skouloudis, A., Holtvoeth, J., Nikolaou, I., Stasinakis, A.S., Kalantzi, O.I., Gatidou, G., Zkeri, E., Koulousaris, M. y Evangelinos, K.I. (2019). Exploring the role of local community perceptions in sustainability measurements. International Journal of Sustainable *Development & World Ecology*, 26(6):471-483.

Kazemi, H., Klug, H., y Kambar, B. (2018). New services and roles of biodiversity in modern agroecosystems: A review. *Ecological Indicators.* 93:1126-1135.

Kuyah, S., Whitney, C., Jonsson, M., Sileshi, G., Öbborn, I., Muthuri, C., y Luedeling, E. (2019). Agroforestry delivers a win-win solution for ecosystem services in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(47):1-18.

Leyva, G, A. y Lores P. A. (2012). Nuevos índices para evaluar la agrobiodiversidad. *Agroecología*, 7(1):109–115.

Llamas-Guzmán, L.P. (2020). Redes de abastecimiento de semillas como un bien común, caso de estudio Ixtenco, Tlaxcala, México, en: Retos latinoamericanos en la lucha por los comunes. CLACSO. 87-110. doi: https://doi.org/10.2307/j.ctv1gm02k3.6

Loaiza, C.W., Carvajal, E.Y., y Ávila, D.A. (2014). Evaluación agroecológica de los sistemas productivos agrícolas en la microcuenca Centella (Dagua, Colombia). *Colombia Forestal*, 17(2):161-179.

López-Castañeda, C. (2011). Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14:907-918.

Lores, A., Leyva, A., y Tejeda, T. (2008). Evaluación espacial y temporal de la Agrobiodiversidad en los sistemas campesinos de la comunidad “Zaragoza” en La Habana. *Cultivos Tropicales*, 29(1):5-10.

Loyola, I. (2016). Conocimientos y prácticas ancestrales y tradicionales fortalecen la sustentabilidad de los sistemas hortícolas de la parroquia de San Joaquín. *La Granja Revista de Ciencia de la vida,* 24(2):29-42.

Marzall, K. y Almeida, J. (1999). Estado del arte sobre indicadores de sustentabilidad para los agroecosistemas. Seminario Internacional sobre Potencialidades y Límites de desenvolvimiento sustentable. Universidad Federal de Santa María, Brasil.

Masera, O., Astier, M. y López-Ridaura, S. (2000). Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. Ciudad de México: Ed: Mundiprensa.

Masera, O., Astier, M., López-Ridaura, S., Galvan-Miyoshi, Y., Ortíz-Ávila, T., García-Barrios, L., García-Barrios, R., González, C. y Speelman, E. (2008). El proyecto de evaluación de sustentabilidad MESMIS. En: Astier, M., Masera, O. y Galván-Miyoshi, Y. Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. 13-22.

Mead, R. y Willey, R.W. (1980). The Concept of a "Land Equivalent Ratio" and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture*, 16(03):217-228.

Montesano, D.J. (1999). Manual del protocolo de investigación. México, D.F.: Editorial Auroch.

Montesillo-Cedillo, J.L. (2016). Rendimiento por hectárea del maíz grano en México: distritos de riego vs temporal. *Economía Informa*, 398:60-74.

Moreno, P. y Fidélis, S. (2015). Local sutainability indicators in Portugal: assessing implementation and use in local governance contexts. *Journal of cleaner production*, 86:289-300.

Moreno-Calles, A. I., Toledo, V.M., y Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4):375-398.

Moreno-Hernández, A., Estrella-Chulim, N., Escobedo, S., Bustamante, A. y Gerritsen, P. (2011). Prácticas de manejo agronómico para la Sustentabilidad: Características y medición en Agave Tequilana Weber en la región Sierra de Amula, Jalisco. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14:159-169.

Morett-Sánchez, J. y Cosío-Ruiz, C. (2017). Panorama de los ejidos y comunidades agrarias en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(1):125-152.

Muñante, D.D. (2002). Manual de formulación y evaluación de proyectos. UACH, Mex.

Muñoz-Tlahuiz, F., Guerrero-Rodríguez, J., López, P.A., Gil-Muñoz, A., López-Sánchez, H., Ortiz-Torres, E., Hernández-Guzmán, J. A., Taboada-Gaytán, O., Vargas-López, S, y Valadez-Ramírez, M. (2013). Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(4):515-530.

Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.

Nicholls, C.I., Henao, A. y Altieri, M.A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10:7-31.

NOM-021-RECNAT-2000. (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México.

Norris, K. (2008). Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conservation letters*, 1:2-11, doi: 10.1111/j.1755-263X.2008.00007.x

Novotny, I.P, Tittonell, P., Fuentes-Ponce, M.H., López-Ridaura, S. y Rossing, W.A.H. (2021) The importance of the traditional milpa in food security and nutritional self-sufficiency in the highlands of Oaxaca, Mexico. *PLOS ONE*, 16(2):1-21. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246281

Odum, E. (1971). Fundamentals of ecology, (3rd ed.). W.B. Saunders.Philadelphia, Estados Unidos.

Oelbermann, M., Voroney, P.R., y Gordón, M.A. (2004). Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 104:359-377.

Ordaz Díaz, J. L. (2009). México: Impacto de la educación en la pobreza rural. Naciones Unidas, CEPAL, Unidad Agrícola.

Orozco, S., Ramírez-Valverde, B., Flores, R.A., Sánchez, L.J., Chulim, N.E., Benjamín, V., Olvera, P., Sánchez, Á.R. Y Guerra, M.M. (2009). Impact of technological knowledge on the adoption of agricultural technology by indigenous peasants of Mexico. *Revista Interciencia*, 34(8):551-555.

Ortega, C.M., y Rivera, F.M. (2010). Indicadores internacionales de Soberanía Alimentaria. Nuevas herramientas para una nueva agricultura. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 14:53-57, recuperado de: http://www.redibec.org/IVO/rev14_04.pdf

Ortiz-Timoteo, J., Sánchez-Sánchez, O. M., y Ramos-Prado, J.M. (2014). Actividades productivas y manejo de la milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica*, (38):173-191.

Peredo, P. S. y Barrera, S.C. (2019). Evaluación participativa de la sustentabilidad entre un sistema campesino bajo manejo convencional y uno agroecológico de una comunidad Mapuche de la Región de la Araucanía (Chile). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 51(1):323-336.

Pérez-Guel, R.O., Martínez-Bautista, H., López-Torres, B.J., y Rendón-Medel, R. (2016). Estimación de la adopción de innovaciones en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5):2909-2923. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342016001102909&lng=es&tlng=es

R Core Team. 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available online at: http://www.R-project.org/

Ramírez, O., Espinoza, E., González, M., Hernández, J. 2018. Situación económica del maíz en la región II Valles Zoques, Chiapas: Jiquipilas y Ocozocoautla. *Revista Mexicana de Agronegocios* 43:31-42.

Ramírez, R., Méndez, J., Vilanova, E., Gutiérrez, N., Andrades, J., Gámez, L., Ramírez-Ángulo, H., y Torrez-Lezama, A. (2016). Almacenamiento de carbono y captura de CO2 como servicios ecosistémicos de la Cuenca del Río Mucujún. *Revista Forestal Venezolana*, 60:7-16.

Ramos-Agüero, D., Terry-Alfonso, E., Soto-Carreño, F., y Cabrera-Rodríguez, J.A. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*, 35(2):90-97.

RAN. (2021). Estadística agraria: Estadística con perspectiva de género. Recuperado de: http://www.ran.gob.mx/ran/indic_gen/nucag-certynocert-avance-2022.pdf

Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerk, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., y Smith, J. (2017). Intensificación sostenible de la agricultura para la prosperidad humana y la sostenibilidad global. *Ambio*, 46:4–17, doi: 10.1007/s13280-016-0793-6

Rodríguez-Larramendi, L., Guevara, H., Reyes, M., Ovando, C., Nahed, T., Prado, L. y Campos, S. (2016). Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(37):77-94.

Rojas, O.C. (2003). El desarrollo sustentable, nuevo paradigma para la administración pública. Instituto Nacional de Administración Pública, A.C. Recuperado el 11 de octubre del 2019 de: http://fcaenlinea.unam.mx/anexos/1345/1345_U5_A1_1

Rosas, J. (2008). Ecogeografía del género *Pinus* (Linnaeus, 1753) en la subcuenca Tecuantepec-Apulco, México. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/4431/1/ECOGEOGRAFIA.pdf

Rosset, P. M., and Martínez-Torres, M. E. (2012). Rural Social Movements and Agroecology: Context, Theory, and Process. *Ecology and Society*, 17(3). https://doi.org/10.5751/ES-05000-170317

Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Ed. Limusa, México, D.F. 432 pp.

Sánchez, P., Ocampo, I., Parra, F., Sánchez, J., María, A., y Argumedo, A. (2014). Evaluación de la sustentabilidad del Agroecosistema maíz en la Región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología,* 9(1 y 2):111-122.

Sánchez, P., y Romero, O. (2017). Evaluación de la sustentabilidad del sistema milpa en el Estado de Tlaxcala, México. *Revista El Colegio de San Luis,* 8(15):107-134.

Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y bosques*, 14(1): 107-120.

Sarandón, S. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: Agroecología: El camino para una agricultura sustentable: 393-414. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina. Recuperado el 08 de noviembre del 2019 de: https://wp.ufpel.edu.br/consagro/files/2010/10/SARANDON-cap-20-Sustentabilidad.pdf

Sarandón, S. J., Flores, C. C., Gargoloff, N. A., y Blandi, M. L. (2014). Análisis y evaluación de agroecosistemas: construcción y aplicación de indicadores. En Sarandón, S.J. y Flores, C.C: Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables, 375-410. La Plata: Universidad Nacional de la Plata.

Scoones, I. (2016). The Politics of Sustainability and Development. *Annual Reviews Environmental Resources,* 41:293-319, doi: 10.1146/annurev-environ-110615-090039

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). El quiote y sus flores, las delicias del maguey. Recuperado el 28 de noviembre de 2022, de: https://www.gob.mx/siap/articulos/el-quiote-y-sus-flores-las-delicias-del-maguey?idiom=es.

SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2021). Información Básica. Disponible en línea en: https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

SIAP. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas, año agrícola 2022: Municipio: Chignautla. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/

Silva, G.L., Lima, H.V., Campanha, M.M., Gilkes, R.J., y Oliveira, T.S. (2011). Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma,* 167-168, 61-70, doi: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.009

Somarriba, E., Beer, J., Alegre-Origuela, J., Andrade, H.J., Cerda, R., DeClerck, F., Detlefsen, G., Escalante, M., Giraldo, L., Ibrahim, M., Krishnamurthy, L., Mena-Mosquera, V., Mora-Degado, J., Orozco, L., Scheelje, M. y Campos, J. (2012). Mainstreaming Agroforestry in Latin America. En Agroforestry: The Future of Global Land Use, 429-453. Dordrecht: Springer.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennet, E., Biggs, R., Carpenter, S., de Vidries, W., de Wit, C., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G., Persson, L., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science,* 347(6223):736-746.

Tissier, M.L., Handrich, Y., Robin, J.P., Weitten, M., Pevet, P., Kourkgy, C., y Habold, C. 2016. How maize monoculture and increasing winter rainfall have brought the hibernating European hamster to the verge of extinction. *Scientific Reports,* 6(1):1-9.

Toledo, V. M. y Barrera-Bassols, N. (2008). Agroecología y sabidurías tradicionales: un panorama mundial. 135-138. En: La memoria biocultural, la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Barcelona: Ed. Icaria.

Torres, L.P., Rodríguez, S.L., y Sánchez, J.O. (2004). Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional: El marco de la agricultura. *Región y Sociedad,* 16(29):109-144.

Turrent, F. A., Espinosa, C., Cortés, F., y Mejía, A. (2014). Análisis de la estrategia MasAgro-maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 5(8):1531-1547.

Turrent, F., Fernández, J., Cortés, F., Espinosa, C., Hernández, R., Robertony, C., Torres, Z., y Zambada, M. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 8(5):1169-1185.

UNEP (United Nations Environment Programme). (2016). UNEP Frontiers 2016 Report: Emerging Issues of Environmental Concern. United Nations Environment Programme, Nairobi.

USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Traducción de: Área de Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras, 2000, Argentina.

Uzcanga-Pérez, N.G., Cano-González, A.J., Chanatásig-Vaca, C.I. 2022. Evaluación de sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en la Península de Yucatán. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2):1-14.

Van der Ploeg, D. J. (2010). The peasantries of the twenty-first century: The commoditisation debate revisited. *The Journal of Peasant Studies*, 37(1):1-30. https://doi.org/10.1080/03066150903498721

Villar, J., y Villar, P. (2016). Guía de la fertilidad de suelos y la nutrición vegetal en producción integrada. Disponible en línea en: https://www.agroptima.com/es/blog/analisis-de-suelos-agricolas/

Vivanco, J., Bojórquez, J., Murray, R., Nájera, O., Flores, F., y Hernández, A. (2010). Características de los principales suelos de la cuenca del Río Mololoa, Tepic, Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 31(1):32-40.

Vizcarra, B.I., Thomé, O.H., Hernández, L.C. (2015). Miradas al futuro: el relevo generacional en el desarrollo de la conciencia social como estrategia de conservación de los maíces nativos. *Carta Económica Regional*, 27(115):55-73.

ANEXO 1

1. Guía de entrevista semi-estructurada

Nombre del productor: _____
Edad: _____
Nivel de estudios: _____
Comunidad: _____
Cargo: _____
Cultivos y árboles que tiene en su parcela: _____

Guía para entrevista con el fin de identificar sistemas y producción y sus puntos críticos

Estructura de canales de comercialización

¿Me puede platicar como comercializa sus productos del campo?, ¿Vende su cosecha a una sola persona?, ¿De dónde es esa persona?, ¿Participa usted en algún mercado o tianguis aquí en su localidad o en la región?

¿En su comunidad se organizan para aspectos productivos? ¿Cómo la compra de insumos como abonos o fertilizantes en grupo?, ¿Venden su cosecha de manera colectiva?, En caso afirmativo, ¿Me puede platicar cómo están organizados para eso?, ¿Está usted en alguna cooperativa relacionada a lo que se produce?, ¿Cuál?

Fuentes de ingresos

¿Aparte de trabajar en el campo realiza otra actividad que le genere ingresos?, En caso afirmativo, ¿Cuál?, ¿Ha recibido apoyo del gobierno o alguna organización para el campo? ¿Cuáles? ¿Desde cuándo?

Nivel de formación

¿Ha asistido a algún taller sobre el campo para aprender alguna técnica o para aprender más sobre algún cultivo?, En caso afirmativo, ¿Cuál?

Identidad cultural

¿Habla usted alguna lengua indígena?

Relevo generacional

De unos años a la fecha algunos vecinos o nuestros mismos familiares han dejado de trabajar el campo para dedicarse a otra cosa o para ir a trabajar a otras ciudades, en su caso ¿Tiene familiares trabajando

en otras ciudades y/o en otro país? Si es así, ¿A dónde se van a trabajar? ¿A qué actividad se dedican allá?

Inestabilidad de producción agrícola y vulnerabilidad a eventos climatológicos extremos

¿Tiene un cálculo de lo que va a cosechar este año?, En los últimos diez años ¿Ha notado alguna variación en sus cosechas de maíz o de fruta?, ¿Cree que ha disminuido?, En caso afirmativo ¿A qué cree que se debe esta disminución?, ¿Recuerda algún año en que haya cosechado menos de lo que esperaba?, ¿Qué sucedió en ese año?, ¿Algún huracán, lluvias intensas o escasez de agua?

¿Ha notado cambios en las lluvias en esta zona? ¿Qué cambios ha notado?, ¿Recuerda en qué años ha pasado esto?, ¿Y cómo afecto su siembra?

Manejo de plagas y enfermedades/malezas

¿Qué insectos son recurrentes en sus cultivos?, ¿Cuál le ha causado mayores pérdidas económicas?, ¿Cómo ha manejado estos problemas? ¿Aplica algún producto químico? En caso afirmativo ¿Conoce el nombre del producto?

¿Ha probado sembrar otro cultivo después de la cosecha de maíz o el intercalar otro cultivo como el frijol?, ¿Cuáles?

¿Me puede platicar cómo realiza las labores de deshierbe? ¿Aplica algún herbicida o producto químico para erradicar las malezas? En caso afirmativo

Manejo de la nutrición en el suelo y conservación

¿Su parcela presenta zonas de ladera? En caso afirmativo: ¿Cómo evita que se deslave el suelo ante la presencia de lluvias fuertes?, ¿Ha realizado en algún momento obras de conservación de suelos como el trazo de curvas a nivel?

¿Ha percibido cambios en el suelo de su parcela? (Coloración, textura, presencia de insectos)

¿Utiliza barreras vivas en su parcela? En caso afirmativo ¿Qué árboles tiene sembrados?

Productividad y disponibilidad en la mano de obra

¿Cuántas personas trabajan en su parcela? ¿Cuántas horas al día dedican al trabajo en el campo? Cuando usted necesita apoyo en su parcela, ¿Hay personas dispuestas a apoyarle?

Vulnerabilidad económica de la actividad

¿Se ha visto afectado por el cambio en el precio de algunos de los cultivos que produce?, ¿De lo que produce qué es lo que más varia en cuanto al precio? ¿Recuerda algún año en que no haya visto la ganancia que esperaba?, ¿A qué se debió eso?

Acompañamiento técnico

¿Lo han apoyado con asesoría sobre el manejo de los árboles o los cultivos que tiene en su parcela?, ¿En qué consistían las asesorías y por qué tiempo recibió la asesoría?

En general, ¿A qué se ha enfrentado usted y que le ha afectado en su cosecha de fruta o cultivos básicos en los últimos 15 años?, ¿Ha habido en este periodo algún suceso que haya propiciado una mejor cosecha?, ¿Cuál?, ¿Cuándo?

*En caso de manejar árboles en su parcela: ¿Con que frecuencia realiza podas a sus árboles o en qué temporada los poda?

*En caso de tener aprovechamiento maderable ¿Podría describir con qué frecuencia extrae árboles?

ANEXO 2

2. Cuestionario

El presente cuestionario está dirigido a campesinos productores de las comunidades de San Mateo y Los Humeros y forma parte del trabajo de tesis de maestría titulado **Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos en el Municipio de Chignautla, Puebla**, que se desarrolla en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Los objetivos de este estudio son completamente académicos, sin fines de lucro y ajenos a cualquier partido político o institución privada, la información obtenida en este cuestionario será tratada de manera confidencial. Agradezco de antemano su disposición y solicito su apoyo para responder las siguientes preguntas:

Información general del entrevistado

No. de cuestionario:
Fecha de aplicación:
Municipio: **Comunidad:**
Nombre completo del entrevistado:

1. Sexo ( ) Femenino ( ) Masculino
2. Edad
3. Estado civil ( ) soltero ( ) Casado ( ) Unión libre ( ) Otro _____
4. Nivel de escolaridad ( ) primaria ( ) secundaria ( ) técnico ( ) bachillerato/preparatoria ( ) sin estudios
5. ¿A qué actividad se dedica? ( ) Campo ( ) Crianza de ganado ( ) Jornalero ( ) Comercio
6. ¿Cuál es la principal fuente de ingresos de su familia? ( ) Trabajo en el campo ( ) Venta de productos pecuarios ( ) Albañilería ( ) Ind. Maquiladora ( ) Otro _____
7. ¿De cuantas personas se compone su familia? No. de hombres _____ No. de mujeres _____
8. ¿Quiénes de sus hijos(as) se integran a las actividades del campo? No. de hombres ___ No. de mujeres____ Edad: _____

Características del agroecosistema

9. Superficie total: _____ ha
10. Tipo de tenencia de la tierra:
    ( ) Ejidal
    ( ) Comunal
    ( ) Privada
    ( ) Rentada (Costo de la renta por año ($):
11. Cultivos principales: ( ) Maíz ( ) Frijol ( ) Haba ( ) Otro _____
12. ¿Combina maíz con alguno de los siguientes cultivos?
    ( ) Frijol
    ( ) Calabaza
    ( ) Haba

Características de la producción en el agroecosistema

13. Enlistar en la siguiente tabla los cultivos que maneja dentro de su parcela:

Cultivo	**Superficie (ha)**	**Producción**		**% consumo de la familia**	**%para venta**	**% para alimentación del ganado**	**Unidad de venta (costales, Kg, etc)**	**Precio del producto**
Maíz		Rastrojo	Grano					
Frijol								
Calabaza								
Haba								
Otro:								

14. De los cultivos enlistados, ¿A cuál le invierte más recursos económicos?_____
15. En caso de comercializar su producción, mencione el o los cultivos que considera que le dejan mayor ganancia: _____
16. Llenar la siguiente tabla con información referente a las actividades desarrolladas como parte del ciclo de producción del maíz y otras labores importantes dentro del agroecosistema:

Costo por jornal:				$_____				
Actividades por etapa del ciclo agrícola	**Labores**	**No. de jornales/ha**		**Tiempo (días/ha)**	**No. de hras/día/ha**	**Tractor**	**Yunta**	**Herramientas y equipo empleados**
Preparación del suelo	Aplicación de estiércol ( ) *Costo del traslado de estiércol	Fam	Cont			( ) Costo ($):	( ) Costo ($):	Pala ( )
	Barbecho					( ) Costo ($):	( ) Costo ($):	Arado ( ) Talacho ( ) Pico ( ) Pala ( ) Azadon ( )
	Rastreo 1 vez ( ) 2 veces ( )					( ) Costo ($):	( ) Costo ($):	Rastra de discos ( ) Rastra de dientes ( ) Rastrillo ( )
	Surcado					( ) Costo ($):	( ) Costo ($):	Pala ( ) Azadón ( ) Cultivadora ( ) Arado ( )
Siembra, labores cultura	Siembra Manual ( ) Mecanizada ( )					Costo de la actividad ($):		A piquete o con palo ( ) A tapa pie ( ) Con pala ( )

les y cosech a	Primer deshierbe o labrada					( ) Costo ($):	( ) Cost o ($):	Azadón ( ) Cultivadora ( )
	Aterrado o aporque 1 vez ( ) 2 veces ( )					Tracto r ( ) Costo ($):	Yunt a ( ) Cost o ($):	Pala ( ) Azadón ( )
	Mateado ( ) *es lo mismo que el abonado o fertilización					( ) Costo ($):	( ) Cost o ($):	Pala ( ) Azadón ( ) Cultivadora ( )
	Segundo deshierbe Mecánico ( ) Control químico ( )					Costo ($):		
	Despunte ( )					Costo ($):		Hoz ( )
	Fumigación ( )					Costo ($):		Mochila aspersora ( )
	Amogotado ( )					Costo de la actividad ($):		
	Cosecha mecanizada ( )					( ) Costo ($):	( ) Cost o ($):	
	Pisca ( )					Costo de la actividad ($):		Pizhcon o punzón ( )
	Desgranado Kg desgranados/persona/d ía:					( ) Costo ($):	( ) Cost o ($):	A mano ( ) Con máquina manual ( ) Con máquinas eléctricas o de combustión ( )
	Empacado					Costo de la actividad ($):		
Otras labores	Podas					( ) Costo ($):	( ) Cost o ($):	

17. Detallar en la siguiente tabla los insumos utilizados en el ciclo agrícola

Especie	**Cantidad/ha**	**Costo unitario/Kg**	**Costo total/ha**	**Origen del insumo**		**Tipo de semilla**		**Variedades cultivadas**	**Intercambio de semillas**	
				Local	**Externo**	**Hibrida**	**Criolla**		**Si**	**No**
Maíz								Amarillo ( )		
								Blanco ( )		
								Arrocillo ( )		
								Azul ( )		
								Otras:		
Frijol								Enredador ( )		
								Mateado ( )		
								Otro:		
Calabaza								De castilla ( )		
								Otra:		
Haba								Criolla ( )		
								Tarragona ( )		
								Grande ( )		

Producto	**Cantidad/ha**	**No aplicaciones por ciclo agrícola**	**Costo unitario**	**Costo total/ha**	**Origen del insumo**	
					Local	**Externo**
Nitrogenados: Urea ( ) DAP-18-46-00 ( )						
Fuente de fosforo: DAP ( )						
Fuente de potasio: Fosfato monopotásico ( )						
Producto	**Cantidad/ha**	**No de aplicaciones por ciclo agrícola**	**Costo unitario**	**Costo total/ha**	**Origen**	
					Local	**Externo**
Herbicidas Faena (glifosato) [ ]					( )	( )
Fungicidas					( )	( )

Insecticidas					( )	( )

18. Indique las inversiones con fondos propios realizadas durante los últimos cinco años:

Marcar una o varias opciones	
☐	Compra de vientres
☐	Construcciones para la crianza de animales
☐	Maquinaria y otros equipos
☐	Sin inversiones
☐	Herramientas/implementos agrícolas
☐	Otros:

*En caso de haber realizado alguna inversión, mencione a cuánto asciende: $_____

Características del subsistema pecuario

19. ¿En su familia se dedican a la crianza de animales? Sí____ No_____ (Si la respuesta es afirmativa responder el siguiente cuadro)

20. Cuál de las siguientes actividades pecuarias le dejó más ingresos el año pasado:

1	Engorda	
2	Crianza para producción de carne	

Detallar actividad ganadera en la siguiente tabla:

Tipo de animal	**No total de adultos**		**Raza**	**No. de camadas por año**	**% de animales para autoconsumo**	**% de animales para venta**	**% venta en pie**	**No de cabezas vendidas por año**	**% venta en canal**	**Peso promedio (animales vendidos en canal)**	**Precio por kg de carne**	**Precio por cabeza (venta en pie)**
	Hembras	Machos										
Gallinas												
Guajolotes												
Patos												
Conejos												
Cerdos												
Borregos												
Vacas												
Otros:												

22. ¿Cuenta con corrales para sus animales? Sí____ No____

23. En relación con el estiércol generado en el agroecosistema durante el último año indicar porcentaje destinado a:

Uso		**Porcentaje (%)**
1	Sin manejo de estiércol y residuos	
2	Producción de abono orgánico	
3	Adición al suelo	
4	Otros usos: _____	

24. ¿Participa en alguna asociación agropecuaria? No ( ) Si ( ) ¿Cuál?_____

Características de manejo de suelo

25. Cultivos suplementarios de los últimos 12 meses

Cultivo	**Superficie (ha)**	**% para alimentación de ganado**

1	Alfalfa			
2	Avena forrajera			
3	Cebada forrajera			
4	Ebo o veza invernal			
5	Otro:	Indicar cual: _____		

26. Tipo de pastoreo:

1. Estabulado (no hace pastoreo) ( )
2. Semiestabulado ( )
3. Rotativo ( )
4. Continuo ( )

27. ¿Cultiva en ladera o pendiente? Si___ No___

28. Marque con una x si realiza alguna de las siguientes prácticas

1. Surcos trazados en curvas de nivel ( )
2. Orientación de surcos a la inversa de la pendiente ( )
3. Mantiene cubierta vegetal entre surcos ( )
4. Acequias o zanjas a nivel ( )
5. Formación de terrazas ( )
6. Barreras muertas para control de erosión ( )
7. Otra: _____ ( )

29. Diversidad de especies presentes en el agroecosistema

Categoría	Especies	No. de individuos	Edad y porte	Superficie (ha)	Arreglo topológico	Beneficio que obtiene	% para autoconsumo	% para venta
Frutales	Manzano				Dispersos ( ) Contorno de la parcela ( ) Lindero ( ) Callejones ( ) Otro: _____	Fuente de alimento ( ) Leña ( ) Barrera viva ( ) Otro: _____		
	Ciruelo							
	Durazno							
	Capulín							
	Tejocote							
	Aguacate							
	Arándano							
	Otros: _____							
Maderables /forestales	Pino				Dispersos ( ) Contorno de la parcela ( ) Lindero ( ) Callejones ( ) Otro: _____	Fuente de alimento ( ) Leña ( ) Barrera viva ( ) Otro: _____		
	Aile							
	Encino							
	Tepozán							
	Sauco							
	Maguey							
	Ciprés							
	Otros: _____							

Categoría	Especies	Superficie (ha)	% para autoconsumo	% para venta
Comestibles (hortalizas)	Lengua de vaca			
	Otras:			

Medicinales	Té limón			
	Hinojo			
	Azomiate			
	Ruda			
	Escoba (*Baccharis conferta*)			
	Zoapatle			
	Otras:			
Aromáticas	Albahaca			
	Hierbabuena			
	Romero			
	Tomillo			
	Cilantro			
	Hierba santa			
	Otros:			

Manejo de almacenes de carbono en el agroecosistema

30. ¿Realiza podas a sus árboles?:

( ) No

( ) Si, ¿Cada cuánto tiempo?

31. ¿Qué hace con los residuos de cosecha (rastrojo) o de poda?

( ) Los quema

( ) Los deja en la parcela

( ) Los usa para alimento de los animales

( ) Otro _____

32. ¿Qué hace con las arvenses?

( ) Las retira de la parcela

( ) Las incorpora al suelo

( ) Otro _____

*¿Qué hace con los residuos de la labor de despunte del maíz? ( ) Los deja en la parcela ( ) Alimento para ganado ( ) Otro: _____

Tecnificación del agroecosistema

33. ¿Durante los últimos cinco años ha recibido alguna capacitación o taller referente al campo?

34. ¿Puede mencionar algunas de las técnicas o prácticas que aprendió?

35. ¿Actualmente aplica alguna de esas técnicas en su parcela? Si___ ¿Cuál? _____ No____

36. ¿Ha mandado a analizar su suelo a algún laboratorio? Si___ No _____

37. ¿Aplica la misma cantidad de fertilizante cada temporada? Si ___ No ___ ¿Por qué? ____

38. ¿Cuenta con apoyo de algún técnico agrícola para manejar su producción? Si___ No_____

Uso de técnicas ancestrales

39. ¿Considera las fases de la luna para realizar las actividades del campo? Si ____ No ____

40. ¿Lleva a bendecir sus semillas antes de la siembra?

41. ¿Intercambia semillas con sus vecinos?

42. ¿Alterna los cultivos en su parcela? Si_____ ¿Cuáles? _____ No_____

43. ¿Tiene alguna forma de predecir el tiempo (p. ej. la interpretación de las cabañuelas)? No____ Si____¿Cuáles?

44. ¿Maneja unidades de medida tradicionales (p. ej. tarea, brazada)? Si____ No_____

45. ¿Cuántos años lleva trabajando de esta forma? _____