



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN AGROECOLOGÍA Y SUSTENTABILIDAD

**SUSTENTABILIDAD DE
AGROECOSISTEMAS DE MILPA
EN LA TRINIDAD IXTLÁN,
OAXACA**

DULCE YANETH MARTÍNEZ PÉREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO


2019

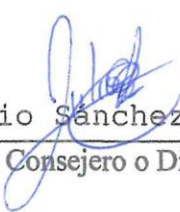
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Dulce Yaneth Martínez Pérez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Julio Sánchez Escudero, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Sustentabilidad de agroecosistemas de milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 29 de julio de 2019


Firma del
Alumno (a)


Dr. Julio Sánchez Escudero
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Sustentabilidad de agroecosistemas de milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca** realizada por la alumna: Dulce Yaneth Martínez Pérez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN AGROECOLOGIA
Y SUSTENTABILIDAD

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. JULIO SANCHEZ ESCUDERO

ASESORA

DRA. MARÍA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

ASESORA

DRA. MARTA ASTIER CALDERÓN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2019.

SUSTENTABILIDAD DE AGROECOSISTEMAS DE MILPA EN LA TRINIDAD IXTLÁN, OAXACA

Dulce Yaneth Martínez Pérez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

En México, la milpa, asociación integrada por maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus* spp.) y calabaza (*Cucurbita* spp.), es el sistema de producción de alimentos más importante para el autoabasto de las familias que viven en zonas rurales. Sin embargo, la sustentabilidad de este sistema está en riesgo debido a diferentes factores ambientales y socioeconómicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas de milpa en una comunidad de la Sierra Norte de Oaxaca. La evaluación se realizó en 12 parcelas, y sus respectivas unidades familiares, donde se practica de manera constante su cultivo. Con base en la metodología del marco MESMIS se seleccionaron 18 indicadores de sustentabilidad que se midieron a través de una encuesta, principalmente. Los agroecosistemas se agruparon mediante un análisis multivariado realizado con la paquetería Rcmdr del software libre R. Los indicadores se transformaron a una escala estandarizada de 0 a 100 mediante el método de intervalo de referencia. El análisis multivariado clasificó a los agroecosistemas en tres conglomerados, que se diferenciaron principalmente por los resultados obtenidos en el indicador relación beneficio-costo, y en dos estudios de caso. Los agroecosistemas de milpa evaluados son sistemas guiados por la racionalidad campesina de producción para el autoconsumo y el uso de mano de obra familiar. En general, son productivos, diversificados, autosuficientes, económicamente viables, autodependientes y mantienen una buena calidad del suelo. No obstante, la sustentabilidad de estos sistemas se ve amenazada por la variabilidad climática, factor que provoca la merma de la producción del principal grano del cultivo, y por la incertidumbre del relevo generacional.

Palabras clave: indicadores, agricultura campesina, maíz, variabilidad climática, MESMIS.

SUSTAINABILITY OF MILPA AGROECOSYSTEMS IN LA TRINIDAD IXTLÁN,
OAXACA

Dulce Yaneth Martínez Pérez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

In Mexico, the milpa, an association consisting of corn (*Zea mays* L.), beans (*Phaseolus* spp.) and pumpkin (*Cucurbita* spp.), is the most important food production system for the self-sufficiency of families living in rural areas. However, the sustainability of this system is at risk due to different environmental and socioeconomic factors. The objective of this study was to evaluate the sustainability of milpa agroecosystems in a community in the Sierra Norte of Oaxaca. The evaluation was carried out in 12 plots, and their respective family units, where their cultivation is constantly practiced. Based on the methodology of the MESMIS framework, 18 sustainability indicators were selected and measured mainly through a survey. The agroecosystems were grouped by a multivariate analysis performed with the Rcmdr package of free software R. The indicators were transformed to a standardized scale of 0 to 100 using the reference interval method. The multivariate analysis classified the agroecosystems into three clusters, which were mainly differentiated by the results obtained in the cost-benefit indicator, and in two case studies. The milpa agroecosystems evaluated are systems guided by peasant rationality of production for self-consumption and the use of family labor. In general, they are productive, diversified, self-sufficient, economically viable, self-dependent and maintain good soil quality. However, the sustainability of these systems is threatened by climate variability, a factor that causes the decrease in the production of the main grain of the crop, and by the uncertainty of the generational change.

Key words: indicators, peasant agriculture, corn, climate variability, MESMIS.

DEDICATORIA

A mi comunidad, La Trinidad Ixtlán Oaxaca.

A los campesinos y campesinas de La Trinidad Ixtlán, quienes fueron mi motivación principal para realizar mis estudios de maestría.

A mis padres, Graciela Pérez Herrera y Balentín Martínez López, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional y me han animado a seguir adelante

A toda la familia Martínez Pérez, porque de alguna u otra forma siempre me han apoyado y motivado durante toda mi vida académica.

A la familia Lázaro Santiago, quien me adoptó como una integrante más de su familia y me brindó su apoyo y compañía durante el tiempo que estuve lejos de mi casa.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, quien, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, financió la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, por darme la oportunidad de estudiar en esta institución.

A los miembros de mi consejo particular, quienes con su experiencia y profesionalismo contribuyeron a la realización de esta investigación.

Al Dr. Julio Sánchez Escudero, por todo su esfuerzo, tiempo y dedicación para realizar esta investigación, por su acompañamiento en el trabajo de campo, por siempre motivarme a seguir adelante y por ser un maestro de vida.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, por su apoyo, asesoría y acompañamiento incondicional a lo largo de toda la investigación, y por brindarme su amistad y sabios consejos.

A la Dra. Marta Astier Calderón, por su disposición y tiempo para asesorar este trabajo desde la distancia, y por la oportunidad brindada para recibir el curso de la metodología MESMIS.

Al Dr. Diego Flores Sánchez, por sus atinadas observaciones que ayudaron a mejorar este trabajo.

A las campesinas y campesinos de La Trinidad Ixtlán que contribuyeron en esta investigación. Gracias por todo su tiempo, experiencias y conocimientos compartidos.

Al personal del laboratorio de génesis de suelos, en especial al Sr. Pedro, al Sr. Arturo y al M.C. Patricio, por su ayuda y asesoría para realizar los análisis de suelos.

A todas y todos los que integran el postgrado en Agroecología y Sustentabilidad, por su amistad, apoyo y compañía brindada a lo largo de mi estancia en esta institución.

A mis amigas Aris, Celia, Dámaris, Magui, Martha, Michelle y Sol, por haberme animado y acompañado en los momentos de dificultad y por siempre confiar en mí.

A mi hermana Carla, por su apoyo y compañía durante todas las etapas de la investigación.

Por último, pero no menos importante, a mis padres, hermanas, hermano, abuelos, tíos y primos, por todo su apoyo y motivación durante esta etapa de mi vida académica y personal.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1 INTRODUCCIÓN	1
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3 MARCO TEÓRICO	3
3.1 La sustentabilidad agrícola	3
3.2 Agroecología y agricultura sustentable	4
3.3 Agroecosistemas sustentables	5
3.3.1 Principios agroecológicos	5
3.3.2 Atributos de sustentabilidad	9
3.4 Evaluación de la sustentabilidad	11
3.4.1 El marco MESMIS	12
3.5 El agroecosistema milpa	16
3.5.1 El manejo de la milpa	17
3.5.2 Bondades de la milpa	18
3.5.3 Racionalidad campesina del cultivo de milpa	20
4 OBJETIVOS E HIPÓTESIS	22
5 MATERIALES Y MÉTODOS	23
5.1 Área de estudio	23
5.2 Determinación de la población y muestra	25
5.3 Evaluación de la sustentabilidad	26
5.3.1 Caracterización de los agroecosistemas	26
5.3.2 Identificación de los puntos críticos	27
5.3.3 Selección y medición de indicadores	27
5.3.4 Análisis e integración de los indicadores	35
5.4 Análisis de suelos	38
5.4.1 Muestreo	38
5.4.2 Análisis de laboratorio	38

5.4.3	Análisis de las propiedades del suelo.....	39
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.1	Clasificación de los agroecosistemas	40
6.2	La milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca	41
6.3	Características de los agroecosistemas.....	43
6.4	Evaluación de la sustentabilidad	47
6.4.1	Puntos críticos de los agroecosistemas	47
6.4.2	Indicadores de sustentabilidad	47
6.4.3	Talleres participativos con campesinos	62
6.4.4	Indicadores afectados por los eventos climáticos del ciclo 2018	67
6.4.5	Integración de los indicadores	69
6.5	Propiedades fisicoquímicas y respiración microbiana del suelo de los agroecosistemas.....	73
7	CONCLUSIONES.....	79
8	RECOMENDACIONES	80
9	LITERATURA CITADA	81
10	ANEXOS.....	90

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Estructura de población por sexo y edad de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	24
Cuadro 2. Variables utilizadas para la evaluación del indicador manejo del suelo en los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	32
Cuadro 3. Valores óptimos utilizados para la estandarización de los indicadores de sustentabilidad evaluados en los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	37
Cuadro 4. Características biofísicas, de manejo y socioeconómicas de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	44
Cuadro 5. Valores de los indicadores de sustentabilidad evaluados en agroecosistemas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	48
Cuadro 6. Porcentaje de jornales utilizados en cada actividad del ciclo agrícola de milpa, en los agroecosistemas de estudio de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	49
Cuadro 7. Cálculo de los indicadores costos de producción y relación beneficio-costo para los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	50
Cuadro 8. Plagas y enfermedades reportadas en los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	53
Cuadro 9. Estrategias de adaptación a la variabilidad climática implementadas por las unidades familiares de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	58
Cuadro 10. Porcentaje de agroecosistemas evaluados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018, según su condición de relevo generacional.	61
Cuadro 11. Prácticas identificadas como estrategias de adaptación a la variabilidad climática en los talleres de campesinos realizados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	64
Cuadro 12. Rendimiento de maíz, autosuficiencia y relación beneficio-costos netos obtenidos en un buen ciclo de producción (sin afectaciones por eventos climáticos) y en el ciclo 2018, para los agroecosistemas evaluados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.	68
Cuadro 13. Características químicas del suelo de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	75
Cuadro 14. Porcentaje de las partículas minerales y textura del suelo de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Atributos generales de los agroecosistemas sustentables.....	10
Figura 2. Localización geográfica de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.	23
Figura 3. Dendograma generado en el análisis clúster, para el agrupamiento de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.. ..	40
Figura 4. Sistema de producción de la unidad campesina típica de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.....	41
Figura 5. Calendario agrícola del cultivo de milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.....	43
Figura 6. Paisaje y parcelas agrícolas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.	45
Figura 7. Milpa y actividades del ciclo de cultivo.....	46
Figura 8. Estadísticas de precipitación y temperatura promedio mensual en el período 1956-2018 comparadas con los valores del año 2018 para la región de estudio.....	54
Figura 9. Desempeño de las variables del indicador compuesto manejo del suelo.....	56
Figura 10. Talleres participativos realizados con campesinos y campesinas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca y calendarios agrícolas del cultivo de milpa de algunos de los participantes.	66
Figura 11. Variación de la temperatura mínima anual y de la precipitación anual total con respecto a los valores promedio del periodo 1956-2018 para la región de estudio. ..	69
Figura 12. Diagrama de AMIBA de los indicadores de sustentabilidad evaluados en agroecosistemas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.	70
Figura 13. Matriz multicriterio del nivel de sustentabilidad de los indicadores evaluados en agroecosistemas de milpa de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.. ..	71
Figura 16. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas del Conglomerado Alto Beneficio Costo (CABC).....	77
Figura 17. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas del Conglomerado Medio Beneficio Costo (CMBC).....	77
Figura 18. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas del Conglomerado Bajo Beneficio Costo (CBBC).....	78
Figura 19. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas A2 y A5.....	78

1 INTRODUCCIÓN

La milpa, policultivo formado por la asociación de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus* spp.) y calabaza (*Cucurbita* spp.), se encuentra presente en casi todas las zonas ecológicas de México y es la base de la seguridad alimentaria para millones de familias que viven en las zonas rurales (Brush *et al.*, 2003; Kato *et al.*, 2009; García-Martínez *et al.*, 2016). Al igual que otros sistemas campesinos en el mundo, es considerado un modelo de sustentabilidad agrícola porque ha sido productivo y resiliente en el tiempo (Altieri *et al.*, 2012).

Sin embargo, derivado de la revolución verde, las políticas agrícolas neoliberales implementadas en el país y procesos sociales como la migración campo-ciudad, la milpa ha venido enfrentando diferentes problemas a los que actualmente se suman los efectos de la variabilidad climática, que en conjunto amenazan las bases ecológicas, sociales, económicas y culturales que han sostenido a esta forma de cultivo (Eakin *et al.*, 2014; Rodríguez y Arias, 2014; Gil y Vivar, 2015; Donatti *et al.*, 2018; Ebel *et al.*, 2018).

En este contexto, el gobierno y las instituciones de investigación agrícola han formulado programas para atender problemas como los bajos rendimientos y los altos costos de producción; no obstante, estos no han logrado su cometido debido a que se elaboran sin el involucramiento de los actores sociales y sin considerar el contexto físico, social y cultural de los campesinos (Turrent *et al.*, 2014).

La presente investigación se realizó para conocer cuáles son los elementos y factores que promueven y afectan la sustentabilidad en agroecosistemas de milpa de una comunidad particular de la Sierra Norte de Oaxaca, y con base en ello poder realizar recomendaciones pertinentes para su mejoramiento. La evaluación se abordó desde el enfoque de la agroecología y el agroecosistema fue estudiado como un sistema socioecológico que se integra por la parcela donde se siembra este policultivo y la unidad familiar que lo maneja.

Los resultados de este trabajo, además de ser de utilidad para las familias campesinas de la comunidad de estudio, contribuyen a la generación de información acerca de las necesidades y problemas reales que enfrentan las campesinas y campesinos de México, que a su vez puede servir para el diseño de políticas y programas adecuados para las agriculturas campesinas del país.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Sierra Juárez del estado de Oaxaca, la actividad agropecuaria se ha debilitado a causa del proceso nacional de crisis agrícola y reformas sectoriales, y de la interrelación de factores locales como la migración, la apertura comercial, la disminución de las practicas colectivas para el trabajo agrícola y el inicio de la actividad forestal comunitaria (De la Tejera y García, 2008). En La Trinidad Ixtlán, comunidad perteneciente a dicha región, este proceso inició en los años setenta del siglo pasado, aunado a la transformación técnica de la agricultura (Martínez, 2016).

Tales procesos han propiciado la disminución del porcentaje de familias campesinas, la reconfiguración espacial de los terrenos agrícolas, el cambio en la dinámica familiar y comunitaria en torno a esta actividad, y la pérdida de importancia de la agricultura, al dejar de ser la actividad principal de la comunidad y convertirse en una práctica complementaria. A nivel de manejo, la transformación involucró el reemplazo de prácticas tradicionales por otras de tipo industrial o la combinación de ambas; por ejemplo, el uso de fertilizantes sustituyó los sistemas tradicionales de rotación, descanso del terreno y aplicación de materia orgánica (Martínez, 2016).

La combinación de todos estos cambios ha generado el incremento de los costos, el decremento de la producción, la merma de la fertilidad de los suelos, la pérdida de la autosuficiencia alimentaria y el desinterés de las generaciones jóvenes. Esta problemática, a la que actualmente se suma la variabilidad climática, es de especial preocupación para los campesinos de esta comunidad que aun practican la agricultura (Martínez, 2016). Lo anterior se resume en una pérdida de sustentabilidad de la práctica agrícola y, en especial, del agroecosistema milpa el cual es el cultivo más importante de la comunidad.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 La sustentabilidad agrícola

El término sustentabilidad tiene sus orígenes en el concepto de desarrollo sustentable establecido en el Informe Brundtland por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Kuhlman y Farrington, 2010). Este informe, elaborado como plan de acción político para hacer frente a la crisis ambiental y económica mundial, definió al desarrollo sustentable como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (CMMAD, 1987). El concepto de desarrollo sustentable fue ligado a tres dimensiones: ambiental, social y económica, y sería alcanzado en la medida que se promoviera el crecimiento económico y la conservación de los recursos naturales para mantener la estabilidad social (Pierri, 2005).

En el ámbito agrícola, el concepto de sustentabilidad se consolidó a partir de la crítica al modelo de agricultura de la revolución verde, el cual, debido a los diferentes impactos negativos provocados en el ambiente y la sociedad, ha sido distinguido como insustentable (Tommasino, 2005). Por tal motivo, desde hace varios años existe un consenso mundial por la búsqueda y promoción de la sustentabilidad de la agricultura, o de una agricultura sustentable.

Pretty (2008) menciona que estos objetivos se centran en desarrollar tecnologías y prácticas que no tengan efectos negativos en el ambiente, que sean accesibles y efectivas para los agricultores, y mejoren la productividad de los sistemas a la vez que promueven efectos positivos en los bienes y servicios ambientales. Este autor también señala que la sustentabilidad de los sistemas agrícolas supone la capacidad de persistir durante un largo tiempo aun frente a factores de tensión y disturbio.

A pesar de la amplia aceptación y utilización del término sustentabilidad, no existe una definición universal sobre el mismo, por lo que su significado es ambiguo, depende de diferentes interpretaciones y está sujeto a constantes esfuerzos por aclarar el concepto (Chiappe, 2002; Seghezzeo, 2009; Kuhlman y Farrington, 2010).

De acuerdo con las ideas de diferentes autores, la sustentabilidad se puede definir como la capacidad que tiene un sistema agrícola para mantener una producción estable a lo largo del tiempo sin perjudicar la base de recursos naturales de los que depende y el medio ambiente que lo rodea,

a la vez que satisface las necesidades y promueve el bienestar de la sociedad (Pretty, 2008; Kuhlman y Farrington, 2010; Koochafkan *et al.*, 2012; Weiner, 2017). Esta capacidad está determinada por las acciones y prácticas de la unidad social que lo maneja, dado que los sistemas de producción agrícola son producto de una coevolución social y ecológica (Francis *et al.*, 2003).

Aunque no existe consenso acerca del concepto de sustentabilidad, ha sido reconocido y aceptado que esta abarca tres dimensiones, la ambiental o ecológica, la social y la económica (Chiappe, 2002; Latruffe *et al.*, 2016). La primera involucra los procesos biofísicos, el funcionamiento de los ecosistemas y el mantenimiento de la productividad; la dimensión social se relaciona con la satisfacción de las necesidades humanas y la dimensión económica comprende los elementos referentes a la viabilidad y eficiencia económica (Tommasino, 2005).

3.2 Agroecología y agricultura sustentable

Con base en la conceptualización multidimensional de la sustentabilidad, diferentes autores han destacado la insustentabilidad del modelo convencional de agricultura, debido a los impactos ambientales, económicos, culturales y sociales que han provocado sus tecnologías (Altieri y Nicholls, 2012; Sevilla y Woodgate, 2013). De acuerdo con Sarandón (2019), tales problemas se derivan del paradigma bajo el cual ha operado este modelo de agricultura. Entre sus principales características se encuentra su enfoque antropocéntrico, productivista, cortoplacista y reduccionista, así como la valoración del conocimiento científico como la única forma.

Actualmente, el régimen corporativo alimentario, integrado por instituciones gubernamentales, monopolios agroalimentarios, universidades y grandes filántropos, propone una nueva revolución verde para enfrentar dichos problemas. Sin embargo, dado que esta se fundamenta en el mismo paradigma y políticas neoliberales de la primera revolución, se espera que la crisis continúe y se agrave aún más (Holt-Giménez y Altieri, 2013). Por todo lo anterior, es evidente que para alcanzar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas se requiere un cambio de enfoque y paradigma (Sarandón, 2019).

Ante este escenario, la agroecología se presenta como una propuesta teórica (transdisciplinaria), metodológica (con enfoque participativo) y de acción social para promover una agricultura sustentable (Méndez *et al.*, 2013). Esta surgió a principios de la década de 1980 como respuesta y forma de resistencia a la crisis ambiental y socioeconómica provocada por la revolución verde

(Guzmán y Morales, 2012; Gliessman, 2018). Por lo tanto, contrario al modelo convencional de agricultura, tiene un enfoque holístico, multidisciplinario y pluriepistemológico (Sarandón, 2019).

Una de las características más importantes de la agroecología, es que ha desarrollado gran parte de sus conceptos, principios y prácticas con base en el estudio de los sistemas de agricultura tradicional o campesina. Estos sistemas son considerados modelos de sustentabilidad porque han mantenido su productividad a lo largo del tiempo sin la utilización de insumos externos, en entornos social y ambientalmente variables, bajo diferentes restricciones físicas y climáticas (Altieri y Toledo, 2011; Altieri *et al.*, 2012; Caporali, 2015) y sin contar con la tecnología del denominado saber científico (Rosset y Altieri, 2018).

Actualmente no existe un consenso respecto a si la agroecología es una disciplina, interdisciplina, transdisciplina o un enfoque. No obstante, derivado de la revisión de Wezel *et al.* (2009) cada vez es más común denominarla una ciencia, una práctica y un movimiento. Para efectos del presente, la agroecología se define como la disciplina científica dedicada al estudio, diseño y manejo de agroecosistemas sustentables (Altieri, 2002; Gliessman, 2018).

El agroecosistema es un espacio de producción agrícola creado por el hombre a partir de la modificación de un ecosistema natural (Gliessman *et al.*, 2007; Caporali, 2015) y se integra por un conjunto de elementos biofísicos (plantas, animales, suelo, agua), que en el caso de los sistemas tradicionales son regulados por las actividades agropecuarias de la unidad familiar campesina (Hernández, 1981). Es un sistema resultado de la coevolución social y ecológica (Francis *et al.*, 2003; Sevilla, 2006), por tanto, aunque físicamente un agroecosistema puede ser el espacio que ocupa un cultivo, una parcela, una finca o el conjunto de estas unidades (Gliessman, 2002) su estudio debe involucrar también a la unidad social o familiar que lo manipula.

3.3 Agroecosistemas sustentables

3.3.1 Principios agroecológicos

Desde el enfoque de la agroecología, un agroecosistema sustentable es aquel que mantiene una producción estable a lo largo del tiempo a la vez que conserva los recursos de los que depende y el ambiente que lo rodea, realiza un mínimo o nulo uso de insumos externos, tiene capacidad para seguir siendo productivo ante perturbaciones y disturbios, y es económicamente viable y socialmente equitativo (Gliessman, 2002; Altieri *et al.*, 2012). Para promover la sustentabilidad de

los agroecosistemas, la agroecología se sustenta en principios que han sido desarrollados, principalmente, con base en el estudio de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas tradicionales, que han demostrado ser sustentables al mantener su productividad a lo largo del tiempo (Gliessman, 2002).

Un primer grupo de principios corresponde a aquellos relacionados con los aspectos ecológicos y ambientales de la sustentabilidad. Estos son los más conocidos y estudiados, y se fundamentan en el funcionamiento de los ecosistemas naturales (Gliessman *et al.*, 2007). En tanto que la sustentabilidad de los ecosistemas se deriva de su capacidad de autoorganización, resiliencia y adaptabilidad (Caporali, 2015), los principios ecológicos están enfocados a generar estas capacidades en los agroecosistemas.

De acuerdo con diferentes autores, los agroecosistemas podrán ser sustentables en la medida que su manejo esté guiado por los siguientes principios: mantenimiento de la diversidad temporal y espacial tanto arriba como debajo del suelo; mantenimiento de la calidad del suelo; promoción de procesos y relaciones ecológicas como el reciclaje de nutrientes, la fijación biológica de nitrógeno, y el control biológico; minimización o eliminación del uso de agroquímicos, energías no renovables y tecnologías que afectan al ambiente y la salud humana; uso eficiente del agua, nutrientes y energía; y promoción de prácticas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y capturen carbono (Koohafkan *et al.*, 2012; Altieri *et al.*, 2017; CIDSE, 2018). De los anteriores, la diversificación del agroecosistema y el mantenimiento de calidad del suelo son considerados como los pilares básicos, tanto para el diseño como para la conversión de agroecosistemas sustentables (Gliessman *et al.*, 2007; Sánchez De P *et al.*, 2012; Nicholls *et al.*, 2015).

La diversificación del agroecosistema, expresada en cultivos (especies y variedades) y especies vegetales, promueve servicios ecosistémicos como el reciclaje de nutrientes, la regulación del microclima (Koohafkan *et al.*, 2012) y la regulación de plagas y enfermedades que atacan a los cultivos (Ratnadass *et al.*, 2011; Hatt *et al.*, 2018). Este último beneficio se genera gracias a la provisión de hábitat, polen, néctar y, presas u hospederos alternativos para los enemigos naturales, por parte de las especies vegetales existentes dentro y a los alrededores de los campos agrícolas (Bianchi *et al.*, 2006; Ratnadass *et al.*, 2011; Nicholls y Altieri, 2012). Por las características

anteriores, el mantenimiento de la biodiversidad se considera un elemento clave para la resiliencia del agroecosistema ante la variabilidad climática (Lin, 2011; Altieri y Nicholls, 2013).

Todos los elementos del agroecosistema son importantes, sin embargo, el suelo es el elemento fundamental y definitorio de estos ecosistemas modificados (de la Peña, 2009). De acuerdo con Karlen *et al.* (1997) la calidad del suelo es la base de la sustentabilidad de un agroecosistema y se define como “*la capacidad para funcionar dentro de los límites del ecosistema manejado, para sostener la productividad vegetal y animal, para mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y para apoyar la salud y vida humana*” (Karlen *et al.*, 1997: 6). Esta capacidad está determinada por las propiedades físicas, químicas y biológicas que ejercen mayor influencia en el crecimiento de los cultivos tales como: la profundidad disponible para la exploración de raíces, el pH, la salinidad, la capacidad de intercambio catiónico, el nitrógeno mineralizable, la biomasa microbiana y la materia orgánica (Magdoff, 1999; Weiner, 2017). Sin embargo, la materia orgánica es el indicador principal de su calidad (Doran y Zeiss, 2000), debido a que contribuye a la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Fageria, 2012) y desempeña funciones importantes en la provisión de servicios ecosistémicos (Feller *et al.*, 2006).

Con base en los principios de diversificación y calidad del suelo, la agroecología propone la implementación de prácticas agroecológicas para mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Entre las principales prácticas enfocadas a la diversificación se encuentran la siembra de policultivos, la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura, la implementación de sistemas agroforestales y, la integración de elementos del paisaje natural (setos y franjas de vegetación) dentro o alrededor de los campos agrícolas (Wezel *et al.*, 2014). A su vez estas tienen un efecto positivo en la calidad del suelo, dado que ayudan a disminuir la erosión, promueven la actividad biológica, e incrementan los niveles de materia orgánica (Wezel *et al.*, 2014; Weiner, 2017).

Las prácticas agroecológicas para mantener la calidad del suelo se dividen en dos categorías, las de manejo, y las de conservación. En el primer grupo se incluye la siembra de cultivos de cobertura y abonos verdes, la mínima o nula labranza, el uso de acolchados y, la aplicación de materia orgánica a través de compost, abonos, estiércol, rastrojos, etc. (Altieri *et al.*, 2015); estas prácticas promueven el mantenimiento de la materia orgánica del suelo, la actividad biológica, la

conservación del agua y la protección contra la erosión hídrica y eólica (Doran y Zeiss, 2000; Wezel *et al.*, 2014; Nicholls *et al.*, 2015). Las prácticas de conservación incluyen barreras vivas, barreras muertas, terrazas, y labranza en contra de la pendiente; estas tienen por objetivo evitar o minimizar la erosión del suelo (Altieri *et al.*, 2015).

Los factores ecológicos son fundamentales para la sustentabilidad de un agroecosistema pero al tratarse de sistemas manejados por el hombre, esta capacidad también depende de elementos económicos y sociales (Gliessman *et al.*, 2007). Históricamente, se ha considerado que para que un agroecosistema sea sustentable, tiene que ser económicamente viable, socialmente equitativo y culturalmente adecuado (Altieri *et al.*, 2012). A pesar de los esfuerzos de diferentes organizaciones, aún no existe claridad respecto a los principios de estas dimensiones de la sustentabilidad.

Dumont y colaboradores (2016) propusieron una serie de puntos para integrar los principios socioeconómicos de la agroecología; los que destacan son: la independencia financiera, la autonomía, la equidad social y la adaptabilidad. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, señalan que dos requisitos para que los sistemas agrícolas puedan ser sustentables son: la reducción de la pobreza, el hambre y la malnutrición, y el fomento de la seguridad alimentaria, a través de dietas saludables, diversificadas y culturalmente apropiadas (FAO, 2018).

La Cooperación Internacional para el Desarrollo y la Solidaridad CIDSE, propuso un conjunto de principios agroecológicos de tipo económico y social con base en la síntesis de varios trabajos existentes. Respecto a los principios enfocados a la promoción de agroecosistemas sustentables se identifica el uso de prácticas y tecnologías respetuosas con la cultura, la identidad, la tradición, la innovación y el conocimiento de las comunidades locales; la contribución a la creación de mercados, economías y empleos locales más sólidos; la independencia financiera, técnica y de insumos externos; y la reducción de los riesgos relacionados al mercado y los disturbios externos (CIDSE, 2018). De acuerdo con Parmentier (2014) otros principios importantes son el uso de prácticas y cultivos acordes a las condiciones biofísicas y socioeconómicas de cada lugar, y la creación de capacidad adaptativa.

Con base en este acercamiento a los principios socioeconómicos se puede vislumbrar que la aplicación de algunos principios ecológicos tiene una influencia directa sobre los primeros. Por ejemplo, al potencializar los procesos ecológicos de reciclaje de nutrientes y, de regulación de plagas y enfermedades, el uso de fertilizantes y plaguicidas se hace innecesario (Rosset y Altieri, 2018), lo que conlleva a la reducción de la dependencia en insumos externos y al fortalecimiento de la autonomía de los agroecosistemas.

3.3.2 Atributos de sustentabilidad

Aunque los principios agroecológicos establecen pautas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables, debido a su elevado número y a la falta de claridad de aquellos referentes a la dimensión social y económica, no son apropiados para establecer características generales y concretas de tales sistemas. Para este propósito, los atributos de sustentabilidad resultan más adecuados, dado que corresponden a las propiedades o características sistémicas fundamentales de un agroecosistema en independencia de su contexto socioambiental y espacio-temporal (Masera *et al.*, 2008).

Conway (1985) propuso cuatro propiedades sistémicas de un agroecosistema sustentable: productividad, estabilidad, sustentabilidad y equidad. De acuerdo con este autor la primera se refiere a la relación entre la cantidad de producción obtenida y la cantidad de recursos invertidos, la estabilidad es la capacidad de mantener una productividad constante, la sustentabilidad también está asociada a la capacidad del agroecosistema para mantener la producción, pero bajo disturbios drásticos, y la equidad consiste en la distribución equitativa de los productos del sistema entre los individuos involucrados.

Con base en la propuesta de Conway y de otros autores, Masera y colaboradores (1999) desarrollaron siete atributos básicos de sustentabilidad, que han sido ampliamente aceptados para el análisis de los agroecosistemas. Estos corresponden a las capacidades que tendría que tener un agroecosistema sustentable y en su mayoría se relacionan al mantenimiento de la productividad agrícola bajo diferentes factores y circunstancias (Figura 1).

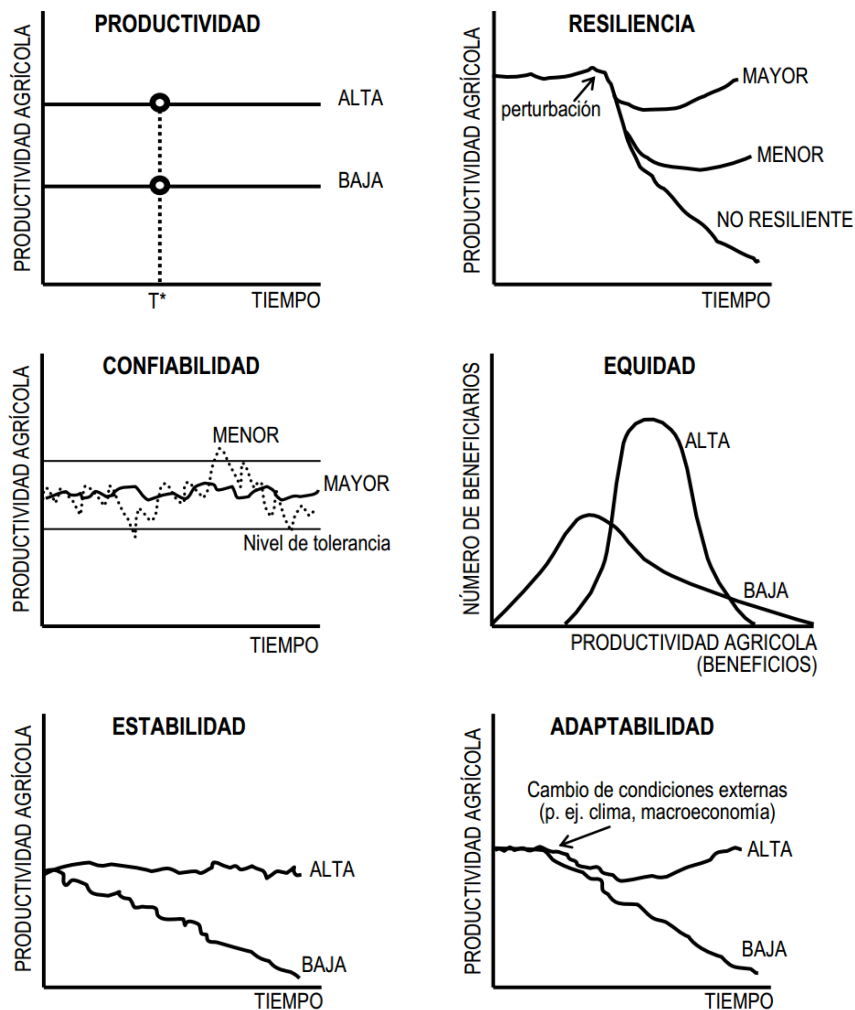


Figura 1. Atributos generales de los agroecosistemas sustentables. Fuente: Masera *et al.* (1999)

Productividad. Capacidad para proporcionar un nivel adecuado de bienes y servicios.

Estabilidad. Capacidad de mantener los beneficios proporcionados por el sistema a lo largo del tiempo en un nivel no decreciente.

Resiliencia. Capacidad del agroecosistema para mantener su potencial productivo después de sufrir perturbaciones ambientales o socioeconómicas fuertes.

Confiabilidad. Capacidad para mantener la productividad y los beneficios del sistema en niveles cercanos al equilibrio ante perturbaciones normales del ambiente.

Adaptabilidad. Capacidad del sistema para mantener su productividad ante cambios ambientales y socioeconómicos de largo plazo y para buscar nuevos niveles o estrategias de producción.

Equidad. Capacidad de distribuir de manera justa, tanto intra como intergeneracionalmente, los costos y beneficios relacionados al manejo del agroecosistema.

Autodependencia o autogestión. Capacidad del sistema para regular y controlar sus interacciones con el exterior.

De acuerdo con estos atributos, un agroecosistema sustentable es aquel que puede obtener un nivel adecuado de productividad mediante el uso eficiente de los recursos naturales y económicos, mantiene una producción estable, confiable y resiliente en el transcurso del tiempo, puede adaptarse a nuevas condiciones ambientales y socioeconómicas por medio de procesos de innovación, distribuye equitativamente los costos y beneficios entre los diferentes individuos y generaciones involucrados, y posee capacidad para mantener su funcionamiento sin la dependencia de factores externos (Masera *et al.*, 1999).

3.4 Evaluación de la sustentabilidad

El uso del concepto de sustentabilidad en el contexto de los sistemas de producción agrícola conlleva la necesidad de implementar métodos para evaluar esta propiedad de los agroecosistemas (López-Ridaura *et al.*, 2002; Galván-Miyoshi *et al.*, 2008). Considerando que la agroecología tiene por objetivo el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables, es evidente que el estudio de la sustentabilidad es una tarea que esta disciplina debería implementar en todo proceso de intervención. Para ello, dada las bases epistémicas de la agroecología, se requiere de metodologías dirigidas por un enfoque holístico (Domínguez-Hernández *et al.*, 2018) y donde se involucre la participación de los actores sociales (Guzmán y Alonso, 2007).

La evaluación de sustentabilidad se realiza a través de la medición de indicadores, cuantitativos o cualitativos, que proporcionan información acerca del funcionamiento y estado de los agroecosistemas en el ámbito ambiental, social y económico (González *et al.*, 2006).

Los indicadores de tipo ambiental, están relacionados a la gestión de insumos y la calidad de los recursos naturales y se engloban en los temas de nutrientes, plaguicidas, recursos no renovables, manejo de la tierra, biodiversidad y calidad del suelo. Los indicadores económicos más utilizados se refieren a la rentabilidad del sistema, y comprenden los ingresos, costos, la eficiencia y la productividad. Otros indicadores que también se evalúan en esta dimensión son la autonomía frente a insumos, subsidios y financiamiento externo, la diversificación de los ingresos agrícolas

y las actividades no agrícolas, y la durabilidad del agroecosistema en el tiempo, relacionado principalmente a la sucesión generacional del mismo. Todos estos en general son indicadores cuantitativos y se expresan en términos monetarios o de proporción. Los indicadores para la evaluación de la sustentabilidad social son menos comunes, debido a que por su carácter subjetivo son difíciles de medir, y están relacionados a la educación, condiciones de trabajo y calidad de vida de los individuos pertenecientes a la unidad de producción, así como a la conservación del paisaje y servicios ecosistémicos, la generación de empleo, la seguridad alimentaria y la calidad de los alimentos. A diferencia de los indicadores ambientales y económicos, la mayoría de los indicadores sociales son cualitativos y subjetivos (Lebacqz *et al.*, 2013; Latruffe *et al.*, 2016).

3.4.1 El marco MESMIS

Actualmente existen diferentes metodologías para la evaluación de la sustentabilidad, mismas que de acuerdo con Galván-Miyoshi *et al.* (2008) se pueden clasificar en tres grandes grupos según la forma en que generan los indicadores. El primer grupo corresponde a aquellas que generan listas de indicadores ambientales, económicos y sociales, pero sin una base teórica sólida. El segundo grupo se integra por metodologías donde los indicadores se sintetizan en índices de sustentabilidad. Por su parte, el tercer grupo corresponde a los marcos de evaluación en los cuales los indicadores se derivan a partir de atributos generales de la sustentabilidad, condición que facilita la selección de los indicadores y contribuye a que estos sean apropiados a las condiciones específicas de los agroecosistemas (Goswami *et al.*, 2017).

Dentro de este último grupo se encuentra el Marco para la Evaluación de Sustentabilidad de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), que es una de las metodologías más utilizadas para evaluar la sustentabilidad en México y América Latina (Astier *et al.*, 2012). Este marco fue diseñado para evaluar la sustentabilidad de sistemas de manejo de recursos naturales (agrícolas, forestales y pecuarios), se centra principalmente en el contexto de las comunidades rurales, e introduce una orientación práctica y un enfoque participativo para promover la constante discusión y retroalimentación entre los evaluadores y los evaluados (Maserá *et al.*, 1999). El MESMIS resulta adecuado a las investigaciones guiadas por la agroecología, dado que comparte el enfoque holístico, participativo y pluriepistemológico de esta disciplina, así como su visión multidimensional del concepto de sustentabilidad.

Este marco define la sustentabilidad con base en siete atributos generales: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autodependencia o autogestión, y evalúa dicha capacidad a través de la comparación de dos o más sistemas (evaluación transversal), o analizando la evolución de un sistema a lo largo del tiempo (evaluación longitudinal). La aplicación de la metodología MESMIS se lleva a cabo mediante un ciclo de evaluación integrado por seis fases:

- 1) Caracterización de los sistemas a evaluar.
- 2) Identificación de los puntos críticos que pueden afectar la sustentabilidad.
- 3) Selección de los indicadores.
- 4) Medición y monitoreo de los indicadores.
- 5) Presentación e integración de los resultados.
- 6) Generación de conclusiones y recomendaciones.

Los indicadores se derivan con base en los atributos de sustentabilidad y los puntos críticos del agroecosistema, lo cual favorece la generación de un conjunto compacto y consistente de los mismos (López-Ridaura *et al.*, 2002).

El marco MESMIS se ha aplicado en más de cincuenta estudios en México y América Latina (Astier *et al.*, 2012). Los indicadores más utilizados para evaluar el atributo de productividad son: rendimiento, eficiencia del uso de energía, ingresos netos y relación beneficio costo. Los atributos estabilidad, confiabilidad y resiliencia se han analizado de manera conjunta e incluyen indicadores como: diversidad de especies cultivadas, materia orgánica del suelo, prácticas de conservación de los recursos naturales, contenido de nutrientes en el suelo, erosión del suelo, incidencia de plagas y arvenses y, cantidad de fertilizantes y plaguicidas aplicados. La adaptabilidad de los sistemas de producción se ha evaluado a través de indicadores como: el número de agricultores que adoptan innovaciones o que reciben asesoramiento, la capacidad que estos tienen para adaptarse a los cambios, el acceso a la educación y el trabajo familiar no remunerado. Los indicadores más comunes evaluados en el atributo equidad son la participación de los individuos involucrados (mujeres, hombres) y la distribución de los beneficios, mientras que en el atributo de autodependencia se han utilizado indicadores como: el nivel de participación en la toma de

decisiones, el costo y la dependencia de insumos externos, el nivel de autofinanciamiento, el acceso a créditos, el nivel de autosuficiencia de los alimentos producidos y la organización social (Speelman *et al.*, 2007; Arnés *et al.*, 2013; Merlín-Uribe *et al.*, 2013; Sánchez-Morales *et al.*, 2014; Domínguez-Hernández *et al.*, 2018).

Los estudios realizados con este marco regularmente evalúan la sustentabilidad de manera transversal, es decir, comparan dos o más sistemas de producción diferenciados por sus prácticas de manejo, nivel de uso de insumos, innovaciones aplicadas, etc. Por ejemplo, Brunett *et al.* (2005) analizaron la sustentabilidad de dos agroecosistemas de producción de maíz y leche: el agroecosistema tradicional, donde la alimentación del ganado se realiza a base de rastrojo, grano de maíz, pastoreo y recolección de arvenses, y el agroecosistema modificado, el cual representa a sistemas que incorporaron innovaciones tecnológicas basadas en el pastoreo intensivo y el uso de ensilajes de maíz. En Chiapas, Aguilar-Jiménez *et al.* (2011) evaluaron agroecosistemas tradicionales de maíz, unos producidos bajo el método de roza-tumba-quema y otros bajo el cultivo continuo de la parcela, y de agroecosistemas alternativos, donde no se realiza quema y se incorpora la siembra de frijol nescafé (*Mucuna deeringiana* B.). En el primer caso el objetivo fue definir cuál agroecosistema es más sustentable y obtener información que contribuya a la toma de mejores decisiones sobre el manejo de los sistemas de producción. En el estudio realizado en Chiapas, la evaluación de sustentabilidad tuvo como propósito conocer la dinámica de la agricultura itinerante y determinar el impacto de las prácticas alternativas que se han implementado en la región.

Merlín-Uribe *et al.* (2013) utilizaron el marco MESMIS para comparar la sustentabilidad de las chinampas y los invernaderos, dos sistemas de cultivo diferentes que coexisten en la misma zona territorial. De acuerdo con los resultados encontrados, el sistema de invernaderos obtiene mayores ganancias y es más diverso, pero dependen en mayor medida de agroquímicos y subsidios externos. Por su parte, aunque las chinampas tienen menores ganancias, tienen una relación beneficio costo similar a los invernaderos debido a que sus costos de inversión son más bajos. Otras bondades de las chinampas son la provisión de alimentos y su potencial para contribuir a los servicios ecosistémicos.

En Michoacán, Arnés y colaboradores (2013) evaluaron, durante dos años consecutivos, tres sistemas representativos de una comunidad de la cuenca del lago de Pátzcuaro: el sistema convencional, caracterizado por la siembra de maíz en monocultivo y el uso de fertilizantes

químicos, el sistema de rotación de cultivos y el sistema de fertilización orgánica. Estos autores encontraron que los dos últimos sistemas, caracterizados por la siembra de maíz en policultivo y el bajo uso de insumos externos, obtuvieron mejores resultados en los indicadores ecológicos y valores similares en los indicadores socioeconómicos en comparación con el sistema convencional. Un hallazgo interesante de este estudio fue que los sistemas diversificados son más rentables que el sistema en monocultivo y más resistentes a las adversidades climáticas.

Los estudios anteriores se realizaron a una escala local y los indicadores fueron evaluados comúnmente a nivel de parcela y unidad familiar. También se han realizado investigaciones donde el marco MESMIS se aplica en la evaluación de agroecosistemas a nivel regional. Por ejemplo, Sánchez-Morales *et al.* (2014) evaluaron las dos formas de manejo del sistema de producción de maíz que predominan en el valle de Huamantla: el sistema tradicional y el sistema en transición a agroindustrial. Los indicadores se midieron en 100 unidades de producción distribuidas en trece comunidades de la zona oriente del estado de Tlaxcala y dado que se trató de una muestra representativa permitió concluir que a nivel regional el sistema tradicional es más sustentable.

Domínguez-Hernández *et al.* (2018) realizaron un estudio para evaluar la sustentabilidad del agroecosistema maíz en el estado de Puebla, pero, a diferencia de la mayoría de las evaluaciones de sustentabilidad no delimitaron sistemas de manejo. Estos autores realizaron el análisis de los indicadores con base en la tipificación de los productores, misma que se realizó mediante un análisis de conglomerados y después de la medición de indicadores. Los grupos resultantes se denominaron: bajo tradicional, medio tradicional y en transición, que se diferenciaron por el rendimiento de maíz y, por la edad, nivel de alfabetismo y nivel de ingresos del productor jefe de familia. Dada la naturaleza de esta evaluación, el análisis se centró en los elementos que contribuyen o afectan a la sustentabilidad del agroecosistema maíz y en aquellos que podrían mejorar esta capacidad, más que en definir cuál grupo es más sustentable.

Los ejemplos descritos evaluaron la sustentabilidad en un solo ciclo. El marco MESMIS propone que, para promover la mejora de los agroecosistemas, la evaluación de sustentabilidad tendría que ser un proceso cíclico. Un ejemplo de este tipo de evaluación fue realizado por Astier *et al.* (2005) en la comunidad de Casas Blancas, Michoacán. Estos investigadores evaluaron un sistema tradicional de maíz (siembra de diferentes variedades de maíz en monocultivo, uso de tracción animal, fertilización a base de estiércol y fuentes inorgánicas, manejo manual de arvenses) y un

sistema tradicional diversificado (con características biofísicas y de manejo similares al primero, pero con la incorporación de cultivos asociados al maíz y cultivos de rotación) después de cuatro años de la implementación del segundo. Los resultados mostraron que el sistema diversificado proporciona mayor disponibilidad de forraje, aporte de nitrógeno y seguridad alimentaria, y promueve una relación beneficio costo más alta. Sin embargo, este tiene mayores costos de producción y es más dependiente en insumos y subsidios. De acuerdo con los autores, la identificación de las fortalezas y debilidades del sistema diversificado son de utilidad para la búsqueda de estrategias que permitan ampliar la adopción y la permanencia de los productores en este sistema.

Todo lo anterior demuestra que tanto la evaluación de sustentabilidad como el marco MESMIS son útiles para diferentes propósitos y contextos. De acuerdo con Guzmán y Alonso (2007), el uso de esta herramienta, combinado con la participación de los campesinos en el proceso de evaluación, garantiza a los investigadores una mejor comprensión de la realidad y puede promover procesos autogestivos en los grupos involucrados.

3.5 El agroecosistema milpa

Los sistemas de agricultura campesina extendidos por todo el mundo, a pesar de sus diferencias geográficas y culturales, comparten características comunes como el alto nivel de biodiversidad, la aplicación de prácticas enfocadas a la conservación del suelo y agua, y el uso de conocimientos e innovaciones campesinas (Koohafkan y Altieri, 2011). Esta última característica, que se manifiesta en el conjunto de saberes y prácticas para el manejo de los agroecosistemas, en conjunto con su cosmovisión y forma de relación con la naturaleza, son factores determinantes en el éxito de los sistemas de producción campesinos (Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

En México, el sistema de producción campesino más importante es la milpa. Este policultivo formado por la asociación de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus* spp.) y calabaza (*Cucurbita* spp.) se encuentra presente en casi todas las zonas ecológicas del país, con variedades y razas adaptadas a condiciones específicas de cada lugar (Brush *et al.*, 2003; Kato *et al.*, 2009; García-Martínez *et al.*, 2016). De maíz existen cerca de 60 razas nativas, mientras que se presentan cinco especies de frijol y cuatro de calabaza, cada uno con diferentes razas (Aguilar *et al.*, 2003; Linares y Bye, 2011).

El maíz, el frijol y la calabaza forman la asociación básica de la milpa, pero generalmente estos se acompañan de otras plantas comestibles, medicinales y forrajeras, que se establecen de acuerdo con las condiciones biofísicas de cada lugar y las costumbres alimenticias de los productores (Linares y Bye, 2011; Benítez *et al.*, 2014; Molina-Anzures *et al.*, 2016; Ebel *et al.*, 2017). En algunas parcelas de milpa también se presentan frutales, sin embargo, este arreglo es menos común debido a que estos árboles se siembran regularmente en los huertos familiares (Boege, 2008; Bartra, 2009; Castelán *et al.*, 2014; Sánchez-Morales *et al.*, 2014). El arreglo de milpa intercalada con árboles frutales otorga diferentes beneficios ambientales y económicos a las familias campesinas: provee de alimentos básicos y variados, permite obtener ingresos por la venta de excedentes de fruta, protege el suelo contra la erosión e incrementa la captura de carbono atmosférico (Molina-Anzures *et al.*, 2016; Turrent *et al.*, 2017).

3.5.1 El manejo de la milpa

La milpa se cultiva bajo dos métodos principales, la roza-tumba-quema (milpa itinerante) y el cultivo permanente de la parcela (cultivo sedentario) (Pérez-García y del Castillo, 2016). En ambos casos, se cultiva en pequeñas superficies de terreno (menores de 5 ha), bajo un sistema de humedad dependiente de las lluvias de temporal y en condiciones de ladera (Boege, 2008; Turrent *et al.*, 2014). Debido a esta última característica, el uso de maquinaria es restringido y las labores se realizan principalmente con herramientas manuales y yunta, lo que implica una alta demanda de mano de obra (Ebel *et al.*, 2017). Las actividades del ciclo de cultivo que implican un mayor trabajo son la siembra, el deshierbe, el aporque y la cosecha (Montes, 2016).

Las semillas que se siembran son, las más de las veces, nativas y adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de cada lugar (Turrent *et al.*, 2014). En la mayoría de los sistemas de milpa coexiste la implementación de prácticas tradicionales basadas en el conocimiento campesino y tecnologías de la revolución verde como los fertilizantes y los plaguicidas (Rodríguez y Arias, 2014), aunque el uso de estos insumos es bajo (Turrent *et al.*, 2014).

Los tiempos y actividades del ciclo de cultivo de la milpa varían con el lugar, pero existen prácticas que son comunes en todos los sistemas de producción de este cultivo. Estas son: preparación del terreno, siembra, deshierbe, fertilización, aporque y cosecha. La primera incluye la limpia del terreno (retiro de rastrojos del ciclo anterior y arvenses), el barbecho o volteo de la tierra y la formación de surcos. En estas actividades, así como en la siembra, la tecnología utilizada depende

de factores como el tamaño de la parcela, los recursos monetarios del campesino y las características del terreno. Del maíz, cultivo principal de la milpa, en México se siembran entre 25 000 y 80 000 plantas por hectárea; la cantidad de semillas de frijol y calabaza es menor debido a que estos no se siembran en todas las matas. El deshierbe o control de arvenses se realiza entre una y dos veces por ciclo, generalmente al primer y segundo mes después de la siembra; para esta actividad se utilizan herramientas manuales (azadón, machete) y en algunos casos herbicidas. La fertilización se realiza con estiércol, fertilizantes químicos o la combinación de ambos. La práctica de aporque o aterrada se realiza con arado o herramientas manuales y puede efectuarse de manera simultánea al deshierbe. La cosecha incluye el corte de los diferentes productos que se obtienen de la milpa, tanto tiernos como maduros (Kato *et al.*, 2009; Carrera-García *et al.*, 2012; Ortiz-Timoteo *et al.*, 2014; Montes, 2016).

3.5.2 Bondades de la milpa

La asociación básica de la milpa es un sistema ingenioso donde los roles de cada uno de los cultivos se complementan entre sí. El maíz brinda el soporte para el crecimiento del frijol, mientras que este fija nitrógeno y alberga insectos benéficos para controlar plagas; las plantas de calabaza ayudan a conservar la humedad, protegen el suelo de la erosión y controlan las arvenses (Aguilar *et al.*, 2003; Altieri *et al.*, 2017; Gómez *et al.*, 2018). Debido a estas características, en la milpa se hace un uso eficiente de luz, agua y nutrientes (Kato *et al.*, 2009).

La milpa es un sistema que promueve la conservación de la biodiversidad agrícola y vegetal (Pérez-García y del Castillo, 2016). Esta característica propicia el mantenimiento de algunos procesos ecológicos que existen en los ecosistemas naturales, tales como la regulación de plagas, el reciclaje de nutrientes, la polinización y, la regulación del microclima y los procesos hidrológicos (Aguilar *et al.*, 2003; Koohafkan *et al.*, 2012; Altieri *et al.*, 2015).

Una de las ventajas más conocidas de la milpa es que esta permite obtener una gran variedad de cultivos, sin embargo, comúnmente su alta productividad queda oculta porque esta se calcula solo en términos del cultivo de maíz. De acuerdo con Buenrostro (2009) si se contabilizan todos sus cultivos el rendimiento es mayor al que se obtendría en un monocultivo de maíz. Al respecto, investigaciones realizadas en los últimos años han demostrado que la milpa es más productiva que un monocultivo.

Ebel *et al.* (2017), realizaron un estudio experimental donde evaluaron el rendimiento de maíz, frijol y calabaza en las cuatro combinaciones del policultivo (maíz-frijol, maíz-calabaza, frijol-calabaza, maíz-frijol-calabaza) y en sus respectivos monocultivos. Con estos datos, los autores calcularon la razón equivalente de la tierra RET, área de tierra relativa de un monocultivo requerida para obtener el mismo rendimiento de un policultivo. Todas las asociaciones obtuvieron una RET entre 1.6 y 1.9, lo que significa que la siembra combinada de estos cultivos produce entre 60 y 90 % más cosecha por área de cultivo que el monocultivo de cualquiera de los tres.

En Colombia, Gómez y colaboradores (2018) encontraron que la asociación de maíz, frijol y calabaza incrementó el rendimiento y mejoró las variables agronómicas del cultivo de frijol (número de vainas, peso de la vaina, número de frijoles, peso del frijol), en comparación con los tratamientos de frijol en monocultivo y frijol asociado a maíz. La RET de esta última asociación fue de 1.82, mientras que la del cultivo de milpa (maíz, frijol, calabaza) fue de 2.95. Esta ventaja es conocida empíricamente por los productores de milpa y es una de las razones por las que conservan su forma de cultivo.

La diversidad de especies cultivadas en la milpa promueve la rentabilidad de su cultivo. En Napízaro, Michoacán, Arnés *et al.* (2013) reportaron que los sistemas donde se siembra maíz asociado con frijol, haba y calabaza obtuvieron una relación beneficio costo mayor que 2.0, lo cual indica que el beneficio obtenido por la siembra de estos cultivos compensa los costos de producción y genera una ganancia mayor que la cantidad invertida.

Otras ventajas que proporciona la diversidad de especies y variedades que se cultivan en la milpa son: el mantenimiento de la productividad a largo plazo, la reducción del riesgo de pérdida de cosecha frente a plagas, enfermedades o eventos climáticos, y la diversificación de la dieta alimentaria (Altieri y Toledo, 2011; Benítez *et al.*, 2014). Ante la presencia de eventos climáticos como sequías, heladas o lluvias extremas, aunque los rendimientos disminuyen, la milpa puede seguir siendo productiva debido a que no todos sus cultivos se ven afectados de igual manera y a que algunas variedades son más resistentes a ciertos efectos adversos (Boege, 2008; Rogé y Astier, 2015).

Los cultivos de la milpa básica proveen, durante la mayor parte del año, una gran variedad de alimentos. De la planta de maíz, además del grano, se obtienen elotes y huitlacoche. De la calabaza

se aprovechan las guías, las flores, los frutos tiernos, las calabazas maduras y las semillas, mientras que del frijol se consume el grano maduro y los ejotes tiernos. A todo esto, se suman otras especies como los quelites, el haba, el chile, el tomate, etc. (Buenrostro, 2009; Linares y Bye, 2011).

La milpa también brinda productos no alimenticios que son útiles para las familias campesinas. Algunos ejemplos son las hojas de la planta de maíz y de la mazorca, que se utilizan para elaborar tamales, las plantas medicinales y las flores de ornato (Montes, 2016).

3.5.3 Racionalidad campesina del cultivo de milpa

El cultivo de milpa está mediado por la racionalidad campesina, que opera de manera distinta al modelo de agricultura convencional (Landini, 2011). Su objetivo es la producción de alimentos para el autoabasto familiar y se concibe como una garantía de alimentos sanos (Isakson, 2009; Altieri *et al.*, 2012; Montes, 2016); no obstante, algunas veces se llegan a vender productos excedentes en el mercado local (Magdaleno-Hernández *et al.*, 2014; Ortiz-Timoteo *et al.*, 2014). Junto con otras actividades productivas, la siembra de milpa forma parte del modo de vida de las familias campesinas y es al mismo tiempo una estrategia para asegurar su reproducción social (Montes, 2016).

La alta demanda de trabajo que requiere el cultivo de milpa se cubre regularmente con mano de obra familiar. Esta estrategia, sustento de la economía campesina, permite aminorar los costos monetarios de producción (Isakson, 2009; Magdaleno-Hernández *et al.*, 2014; Molina-Anzures *et al.*, 2016). Tanto hombres como mujeres se involucran en las actividades del ciclo de cultivo. Los hombres realizan los trabajos de la parcela, mientras que las mujeres, además de preparar los alimentos y llevarlos a la parcela, contribuyen en actividades como la siembra, limpia y cosecha (Ortiz-Timoteo *et al.*, 2014). Las personas adultas, mayores de 40 años, son quienes realizan principalmente estas actividades, mientras que los hombres y mujeres jóvenes se emplean en actividades no agrícolas (Montes, 2016).

En muchos lugares donde se cultiva la milpa, la carencia de fuerza de trabajo familiar ha promovido que las familias campesinas utilicen mano de obra contratada, que subsidian con los ingresos obtenidos en otras actividades económicas (Eakin *et al.*, 2014). Desde el punto de vista económico esta es una acción irracional dado que sería más factible comprar los alimentos en el mercado. Sin embargo, los campesinos continúan sembrando este cultivo porque su valoración no

se basa en términos monetarios, sino más bien en la seguridad alimentaria que les brinda y otros beneficios no conmensurables (Isakson, 2009).

En un estudio donde se analizó la importancia cultural y económica que tiene la milpa, Montes (2016) reportó distintas razones que explican el cultivo y la persistencia de la milpa. Entre estas destacan: la importancia cultural y alimentaria del maíz, principal grano de la milpa; el mantenimiento de la seguridad alimentaria; los beneficios múltiples de alimentos y otros productos que provee; la valoración de la calidad de los alimentos; y su relación con un estilo de vida e identidad campesina. Esta lógica o estilo de vida se sustenta en la diversidad de cultivos y el abasto de los alimentos básicos para la familia (Collin, 2017).

Isakson (2009) menciona que, además de la provisión de alimentos, los campesinos continúan sembrando la milpa porque aprecian la satisfacción que les otorga trabajar la tierra, ver crecer y cosechar sus cultivos, saber que pueden alimentarse de los frutos de su propio trabajo y convivir con su familia durante las labores. Por lo tanto, valorar los beneficios de la milpa solo en términos monetarios sin considerar aquellos no cuantificables, reduce el valor y la importancia que este cultivo tiene para las familias campesinas. Al respecto, Guevara *et al.* (2000) mencionan que, para evaluar la rentabilidad de la producción, los indicadores económicos tienen que ajustarse a una lógica de autoconsumo.

A comparación de la agricultura convencional, el manejo y las decisiones que los campesinos realizan respecto al cultivo de milpa no están determinadas por los precios de mercado, sino por su cultura, necesidades, gustos, recursos y contextos específicos (Montes, 2016). Por ejemplo, la siembra de diferentes cultivos y variedades está relacionada con las necesidades alimenticias de la familia (Buenrostro, 2009), pero puede variar según las condiciones ambientales y la disponibilidad de mano de obra familiar (Brush *et al.*, 2003).

De acuerdo con Rodríguez y Arias (2014), las prácticas que los campesinos realizan en la milpa no son fortuitas, sino que están influenciadas por diferentes factores biofísicos, socioeconómicos y culturales. Entre los primeros destacan las características del suelo, las condiciones climáticas, y el desarrollo de arvenses. Los principales elementos socioeconómicos tomados en cuenta son la disponibilidad de fuerza de trabajo familiar y de recursos monetarios para comprar insumos y contratar jornales. Por su parte, los factores culturales corresponden a los conocimientos y creencias de los campesinos, así como a las relaciones familiares y comunitarias.

4 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

- Evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas de milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

Objetivos específicos

- Analizar los elementos y factores que determinan la sustentabilidad de los agroecosistemas.
- Analizar algunas propiedades químicas y biológicas del suelo de los agroecosistemas de milpa y su relación con el manejo.

Hipótesis general

- Los agroecosistemas con manejo enfocado a la conservación del suelo y la diversificación de cultivos, son más sustentables que aquellos que carecen de tales estrategias.

Hipótesis específicas

- Existen elementos y factores de tipo ambiental, económico y social que determinan la sustentabilidad de los agroecosistemas.
- Algunas propiedades químicas y biológicas del suelo están relacionadas con el manejo de los agroecosistemas.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

La Trinidad Ixtlán, es una agencia perteneciente al municipio de Santiago Xiacuí, distrito de Ixtlán de Juárez, de la región Sierra Norte del estado de Oaxaca. Se localiza aproximadamente a 69 km al noroeste de la ciudad capital Oaxaca de Juárez, entre los 17°15' y 17°17' N y los 96°21' y 96°25' O, y en un rango altitudinal de 2000 a 2950 m (Figura 2). Su territorio abarca una superficie de 805 ha de propiedad comunal, cubiertas en su mayoría por bosque de pino-encino, y 496 ha de pequeñas propiedades, en donde se ubica la zona urbana y gran parte de los terrenos agrícolas (UZACHI, 2014).

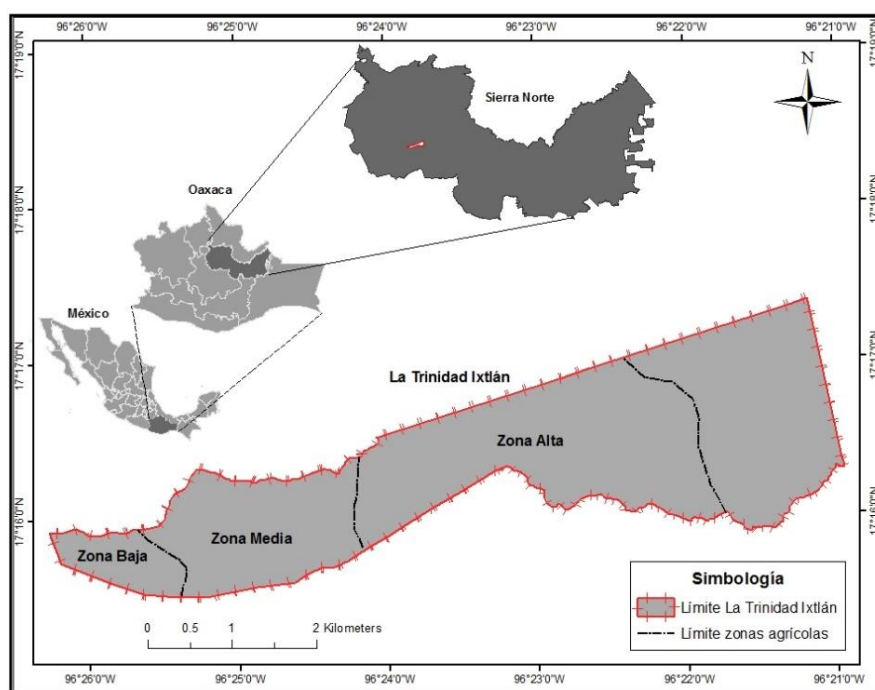


Figura 2. Localización geográfica de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

Los tipos de clima reportados para La Trinidad Ixtlán son templado húmedo C(m)(w) y templado subhúmedo C(w2)(w) (INEGI, 2002). La temperatura media anual en la zona es de 17.2 °C. La temporada más fría del año abarca de noviembre a enero, mientras que los meses más calurosos son marzo, abril y mayo. La precipitación normal anual es de 1015 mm, y los meses de junio a octubre son los más lluviosos (CONAGUA-SMN, 2019). La comunidad se encuentra ubicada en

una zona montañosa. Debido a esta característica la mayoría de los terrenos donde se practica la agricultura tienen condiciones de ladera, con pendientes de hasta 70 %. Los tipos de rocas presentes son caliza y caliza-lutita (INEGI, 2014), mientras que los suelos que predominan son el acrisol y luvisol (INEGI, 2008).

En el 2018, La Trinidad Ixtlán tenía 778 habitantes, 405 mujeres y 373 hombres, mismos que se encuentran agrupados en 222 familias (UMR-142, 2018). Más de 50 % de los habitantes tienen entre 0 y 49 años (Cuadro 1), lo que indica que se trata de una población joven. Las principales actividades económicas que realizan sus habitantes son la carpintería, la panadería, la albañilería, la agricultura, la ganadería, el comercio, los servicios de transporte público, los servicios profesionales y la silvicultura.

Cuadro 1. Estructura de población por sexo y edad de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Rango de edad (años)	Mujeres	Hombres	% por rango de edad
0-9	56	61	15.0
10-19	67	67	17.2
20-29	65	68	17.1
30-39	65	54	15.3
40-49	54	40	12.1
50-59	40	33	9.4
60-69	24	25	6.3
70-79	22	14	4.6
> 80	12	11	3.0
Total	405	373	100

Fuente: Unidad Médica Rural 142-La Trinidad. Censo de población 2018.

La agricultura se practica en tres zonas agrícolas diferenciadas por su altitud y microclima. La zona alta se ubica en un rango altitudinal de 2500 a 2700 m, donde el clima es más frío y húmedo que en el resto del territorio y comprende las parcelas agrícolas que se encuentran dentro del área forestal (bosque de pino-encino) de la comunidad. La zona media abarca las parcelas agrícolas que se encuentran dentro de la zona urbana, en un rango altitudinal de 2250 a 2500 m. La zona baja abarca los terrenos distribuidos en un rango altitudinal de 2100 a 2250 m, donde el clima es más seco y caliente.

Aunque 55.4% de las familias aun practica la agricultura, esta es una actividad complementaria de su economía, misma que tienen por objetivo el autoabasto familiar. Solo pocas personas se dedican exclusivamente a las labores agrícolas, en su mayoría hombres adultos que por su edad ya no se emplean en otras actividades (Martínez, 2016).

En esta comunidad existen dos tipos de gobierno, conocidas localmente como Autoridades Municipales y Autoridades Comunales. El primero lo conforma el Cabildo Municipal, mismo que es dirigido por el Agente Municipal, y se encarga de los asuntos referentes al orden público, los servicios, la infraestructura y la administración de los recursos federales asignados. Las autoridades comunales se encargan de los asuntos relacionados con el territorio comunal, el manejo de los recursos forestales y las empresas comunales. Las instituciones que representan a este gobierno son, el Comisariado de Bienes Comunales, el Consejo de Vigilancia y La Unidad Económica de Aprovechamiento Forestal Comunal, mismas que son coordinadas por el Presidente del Comisariado de Bienes Comunales. Esta forma de gobernanza es característica de las comunidades de La Sierra Norte de Oaxaca, donde la Asamblea General es la máxima autoridad (Gasca, 2014).

La Asamblea General, institución conformada por ciudadanas, ciudadanos, comuneras y comuneros, es quien elige a los representantes del gobierno, establece reglas, sanciones, obligaciones y derechos, determina las acciones a realizar dentro de la comunidad y toma decisiones acerca del manejo de los recursos comunales (Gasca, 2014). Esta institución, en conjunto con el Tequio (trabajo no remunerado que realizan los miembros de la Asamblea General) y los Cargos (ocupación de puestos no remunerados dentro del esquema de autoridades municipales o comunales) son los componentes clave de la identidad y organización comunitaria (Robson, 2009).

5.2 Determinación de la población y muestra

Previo a la delimitación de la población y muestra, se realizó una visita a la comunidad de estudio. Esta tuvo por objetivo presentar al equipo de investigación ante las autoridades de la comunidad y solicitar su consentimiento para la realización del trabajo, así como realizar un recorrido por las parcelas agrícolas de la comunidad para reconocer algunas de sus características biofísicas y de manejo.

La población de estudio se delimitó bajo el criterio de constancia en la práctica agrícola. Con ayuda de dos campesinos de la comunidad¹ se identificaron 50 unidades familiares quienes practican de manera constante el cultivo de milpa en 61 parcelas de la zona agrícola media. Debido al corto tiempo para realizar la investigación y los recursos limitados para el trabajo de campo, se optó por una muestra no estadística.

Se seleccionaron seis parcelas de milpa donde, durante el recorrido, se identificaron prácticas de diversificación de cultivos y manejo para la conservación del suelo (milpa intercalada con árboles frutales, rotación de milpa con leguminosas, terrazas, barreras vivas y muertas) y seis más, cercanas a las primeras, donde no se observó la presencia de estas prácticas. Cada parcela se consideró un agroecosistema de milpa, entendiendo a este como un sistema socioecológico (Caporali, 2015) integrado por la parcela de cultivo y la unidad familiar campesina que la maneja. Por lo tanto, se evaluaron 12 parcelas de milpa y sus respectivas unidades familiares. El primer grupo de agroecosistemas se denominó sistema de manejo alternativo y el segundo, sistema de manejo de referencia.

5.3 Evaluación de la sustentabilidad

La evaluación de sustentabilidad se realizó con base en el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), desarrollado por Masera *et al.* (1999). La investigación fue de tipo mixta, se utilizaron metodologías cuantitativas y cualitativas. Este método es útil en el estudio de fenómenos y problemas complejos (Hernández *et al.*, 2014), tal como el análisis de sustentabilidad de agroecosistemas. Durante el estudio se promovió la investigación participativa a través de la técnica de observación participante (Guzmán y Alonso, 2007); los instrumentos utilizados fueron talleres con campesinos, entrevistas, transectos y visitas a las parcelas.

5.3.1 Caracterización de los agroecosistemas

La caracterización socioambiental de los agroecosistemas se realizó con base en los recorridos de campo, y los datos obtenidos en una encuesta (Anexo 1). El cuestionario incluyó preguntas referentes a la superficie, años de trabajo, manejo de la parcela, especies cultivadas y unidad familiar, entre otros. Adicionalmente, mediante la metodología desarrollada por Ortíz. *et al.* (1990)

¹ Sr. Ernesto Santiago Ruiz de 54 años y Sr. Balentín Martínez López de 48 años.

se mapearon los tipos de tierra según la clasificación campesina con el objetivo de documentar el conocimiento etnoedafológico local.

En los recorridos por las parcelas, se midió la pendiente del terreno y se observaron las prácticas agronómicas aplicadas. En algunos casos, las visitas a las parcelas se llevaron a cabo con el acompañamiento de los campesinos, quienes aportaron información adicional que no se mencionó en la encuesta.

Para realizar la caracterización del ciclo de cultivo de la milpa se realizó un taller con campesinos de los agroecosistemas de estudio y de la comunidad en general.

5.3.2 Identificación de los puntos críticos

Masera *et al.* (2008), definen los puntos críticos como las fortalezas y debilidades que propician o limitan la capacidad de los agroecosistemas para sostenerse en el tiempo, y pueden ser elementos, factores o procesos ambientales, técnicos, sociales y económicos. Estos se identificaron con base en los resultados de una investigación previa, una plática con las autoridades municipales y comunales de la comunidad, la realización de un taller con campesinos y los recorridos por las parcelas.

5.3.3 Selección y medición de indicadores

Con base en los puntos críticos, se derivaron los criterios de diagnóstico e indicadores para cada atributo de sustentabilidad. Este proceso se apoyó en la revisión de estudios similares, y bibliografía referente a los atributos de sustentabilidad, así como de la información obtenida, mediante la observación participante, acerca de la dinámica de los agroecosistemas de la comunidad.

Se seleccionaron 18 indicadores que se midieron principalmente a través de una encuesta. El cuestionario incluyó preguntas referentes a características de la parcela, cultivos, costos de producción, unidad familiar, plagas y enfermedades, eventos climáticos, y manejo del suelo (Anexo 1). No obstante, algunos se midieron en campo, a través de la observación o estimación.

Durante la investigación se realizaron cuatro talleres en donde asistieron campesinos de los agroecosistemas de estudio y de la comunidad en general. Su objetivo fue profundizar en el análisis

de los indicadores. Los primeros talleres fueron promovidos por el equipo de investigación, después, los propios participantes solicitaron su realización y propusieron los temas a tratar.

A continuación, se presenta la metodología utilizada para medir cada uno de los indicadores derivados según los atributos de sustentabilidad del MESMIS.

a) Atributo productividad

De acuerdo con Masera *et al.* (1999), la productividad es la capacidad que tiene el agroecosistema para brindar un nivel de bienes y servicios durante un periodo de tiempo determinado. Para este atributo se midió el rendimiento de maíz, los costos de producción, la relación beneficio-costo, la autosuficiencia de maíz y la autosuficiencia de productos básicos.

Rendimiento de maíz

Para este indicador se consideró el rendimiento del ciclo 2018 y el rendimiento de un año de buena cosecha, cuando no se presentan eventos climáticos que afecten a los cultivos.

El rendimiento del ciclo 2018 se obtuvo con base en la estimación post-cosecha de la producción de maíz. Se pesó toda la cosecha de maíz, separada según fuera el caso, en mazorca con hoja, sin hoja y dañada. Luego se calculó el factor de desgrane de seis mazorcas representativas de cada grupo (Triomphe, 2004)², el factor de humedad de 10 g de maíz (CIMMYT, 2012) y el área de siembra de cada agroecosistema, misma que se determinó mediante un sistema de información geográfica. El rendimiento de maíz se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$RM = \frac{\sum_{n=i}^k (Pm_n * FD_n * FCH)}{A}$$

Donde: RM = rendimiento de maíz (kg ha⁻¹); Pm = peso de la mazorca (kg); FD = factor de desgrane (adimensional); n = grupos de mazorca (i = mazorca con hoja, j = mazorca sin hoja, k = mazorca dañada); FCH = factor de corrección por humedad (adimensional); A = área de siembra (ha).

² La elección de seis mazorcas se hizo de manera arbitraria con el objetivo de no causar una gran modificación a la forma en la que las familias guardan su producción, dado que todas conservan el maíz en mazorca e incluso sin quitarle las hojas.

El rendimiento de un buen año de cosecha se calculó con base en la cantidad de maíz reportada por los campesinos para un año de buena producción³.

Autosuficiencia de maíz

Al igual que el indicador anterior, para este se obtuvieron dos valores, el del ciclo 2018 y el de un año de buena cosecha. La autosuficiencia de maíz, expresada en meses, se obtuvo al dividir la cantidad de grano producido (en kg), entre la cantidad que consume durante un mes cada familia.

Costos de producción

Este indicador se obtuvo mediante la suma de los costos derivados por pago de jornales hombre, pago de jornales yunta y compra de fertilizantes, que son los únicos conceptos que generan costos de inversión en el cultivo de milpa en los agroecosistemas estudiados. El cálculo se realizó con base en el costo promedio local de jornales y fertilizantes del ciclo 2018⁴. De acuerdo con la superficie de la parcela, estos fueron extrapolados a una hectárea.

Para cada uno de los agroecosistemas se calculó el costo total y el costo neto. El primero corresponde a la suma del pago del total de jornales, yuntas y fertilizantes, mientras que el costo neto se calculó considerando un costo menor para los jornales que se cubren con mano de obra familiar⁵.

Relación beneficio-costo

Dado que el objetivo de la milpa es el autoconsumo familiar, el beneficio se midió en función del ahorro por no comprar el maíz cosechado⁶; para ello se multiplicó la producción de maíz por el precio promedio local de un kilogramo (\$7.00). La variable costo se midió en función del pago de jornales hombre, jornales yunta y fertilizantes. La relación beneficio-costo se calculó mediante la siguiente fórmula:

³ En aquellos casos donde los campesinos reportaron la producción en términos de los costales de mazorca cosechada, primero se realizó el cálculo de la producción de grano (en kg) con base los factores de corrección obtenidos en la estimación post-cosecha (factor de desgrane y humedad) y el peso promedio de un costal de mazorca.

⁴ Un jornal hombre cuesta \$180.00, mientras que un jornal de yunta \$380.00 Ambos equivalen a ocho horas de trabajo. El costo de los fertilizantes (por kilogramo) en la región, para el año 2018 fue: sulfato de amonio = \$5.60; urea = \$8.00; fosfato diamónico = \$10.00

⁵ El costo de un jornal cubierto con mano de obra familiar es de \$30.00, cantidad que corresponde al costo de alimentación.

⁶ Originalmente se planeó medir el beneficio en función del ahorro por no comprar todos los alimentos de la milpa, sin embargo, dado que la mayoría de campesinos no recordaron las cantidades de todos los cultivos obtenidos, se decidió medir el beneficio solo en función de la producción de maíz.

$$\text{Relación beneficio – costo} = \frac{B}{C}$$

Donde: B = Beneficio ahorrado por el maíz producido (\$); C = Costos totales (\$).

Autosuficiencia de productos básicos

Este indicador se midió en términos del porcentaje de productos básicos, de un total de 23 sin incluir al maíz, que obtiene la familia campesina de su parcela de milpa. La lista incluye frijol yumil, frijol zatope, frijol zalaya, calabaza, chilacayota, quintonil, mostaza, haba, chícharo, trigo, papa, chile, chayote, aguacate, durazno, ciruela, manzana, limón, membrillo, pera, nuez, higo y tejocote.

b) Atributo estabilidad, confiabilidad y resiliencia

El marco MESMIS menciona que la estabilidad y confiabilidad de un agroecosistema está relacionada con su capacidad para mantener una productividad no decreciente y cercana a un nivel óptimo en condiciones o ante perturbaciones normales del ambiente, y la resiliencia es la capacidad de conservar ese potencial productivo después de sufrir fuertes perturbaciones (Masera *et al.*, 1999).

Diferentes autores sugieren que la estabilidad, confiabilidad y resiliencia de los agroecosistemas está determinada por la diversidad vegetal y la conservación del recurso suelo (Ratnadass *et al.*, 2011; Altieri, 2012; Blanco-Canqui y Francis, 2016). Para este atributo se midieron los indicadores agrobiodiversidad, diversidad circundante, manejo del suelo, prácticas para el control de la erosión y materia orgánica. Además, se evaluó la pérdida de cultivos por plagas y enfermedades, y la merma de la producción de maíz por eventos climáticos, porque los campesinos mencionaron que son factores que afectan la productividad de los agroecosistemas de milpa.

Agrobiodiversidad

Mediante la encuesta, se contabilizó el número de especies y variedades agrícolas presentes y cultivadas en cada una de las parcelas. Los recorridos de campo con los campesinos corroboraron esta información.

Diversidad circundante

En los bordes de las parcelas se contabilizó la presencia o ausencia de tres grupos de especies vegetales perenes (árboles, setos y arbustos, y plantas con flores). Estos grupos se establecieron con base en la vegetación predominante observada en recorridos previos.

Manejo del suelo

Este fue un indicador compuesto que se conformó a partir de ocho subindicadores y nueve variables relacionadas con las estrategias de manejo sustentable del suelo (Doran y Zeiss, 2000). Por cada variable se elaboró una lista de opciones, según las características locales de manejo, y se estandarizó a una escala cuantitativa de 0 – 4 (Cuadro 2), donde el valor más alto representa la condición ideal para mantener en buen estado al recurso suelo de acuerdo con las prácticas agroecológicas (Wezel *et al.*, 2014). El valor máximo del indicador corresponde a 36 y el mínimo es cero.

Para evaluar los subindicadores, en la encuesta se realizaron preguntas referentes al tipo de tecnología utilizada para preparar la tierra, el tipo de insumo aplicado para fertilizar, el número de tipos de residuos orgánicos aplicados en la parcela, la forma de control de las arvenses, la relación años de trabajo: años de descanso, la periodicidad y forma de rotación con leguminosas, el porcentaje de rastrojos que se dejan en la parcela y el manejo que se da a estos residuos (quema o reincorporación al suelo). En el caso de la variable cobertura del suelo, se preguntó cuánto tiempo antes de la siembra se prepara el terreno porque una vez realizada esta acción la mayor parte del suelo permanece descubierto.

Prácticas para el control de la erosión del suelo

Debido a que los agroecosistemas se encuentran en una zona de ladera donde un problema eminente es la erosión del suelo, se consideró pertinente la evaluación de prácticas para su control misma que se midió a través de la observación en campo. Se contabilizó la presencia o ausencia de las prácticas: bordo vivo en la parte inferior de la parcela, barreras vivas dentro de la parcela, barreras muertas y terrazas.

Cuadro 2. Variables utilizadas para la evaluación del indicador manejo del suelo en los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Subindicador	Variable	Escala estandarizada
Preparación del terreno	Tipo de tecnología para remover la tierra	4: Herramientas manuales 3: Herramientas manuales y arado 2: Arado 1: Arado y tractor 0: Tractor
Fertilización	Tipo de fertilizantes	4: Abonos orgánicos 2: Abonos orgánicos y fertilizantes químicos 0: Fertilizantes químicos
Aporte de materia orgánica	Número de tipos de residuos orgánicos incorporados	4: 5 o más tipos de residuos orgánicos 3: 4 tipos de residuos orgánicos 2: 3 tipos de residuos orgánicos 1: 2 tipos de residuos orgánicos 0: 1 tipo de residuo orgánico
Cobertura del suelo	Tiempo de cobertura	4: 11-12 meses 3: 9-10 meses 2: 8 meses 1: 7 meses 0: Menos de 7 meses
Manejo de arvenses	Forma de control	4: Herramientas manuales 2: Herramientas manuales y herbicidas 0: Herbicidas
Descanso de la parcela	Relación años de trabajo: años de descanso	4: 1 año de trabajo: 1 año de descanso 3: 2 – 4 años de trabajo: 1 año de descanso 2: 5 – 7 años de trabajo: 1 año de descanso 1: 8- 10 años de trabajo: 1 año de descanso 0: No descansa
Rotación de milpa con leguminosas	Periodicidad y forma de rotación	4: Cada año/ toda la parcela 3: Cada año/ parte de la parcela 3: Cada 2-3 años/ toda la parcela 2: Cada 2-3 años/ parte de la parcela 1: Cada 4 o más años/ toda o parte de la parcela 0: Casi nunca o nunca
Manejo de los rastrojos	Porcentaje de rastrojos destinados para la parcela	4: 81-100 % 3: 61-80 % 2: 41-60 % 1: 21-40 % 0: 0-20 %
	Manejo de los rastrojos destinados para la parcela	4: Todo se incorpora al suelo 2: Una parte de quema y otra se incorpora al suelo 0: Se quema todo o gran parte

Afectación de cultivos por plagas y enfermedades

Este indicador se valoró a través de una escala Likert conformada por los siguientes elementos: nada, muy poco, poco, regular, mucho y casi todo.

Merma de la producción de maíz por eventos climatológicos

Este indicador se calculó con base en la producción de maíz obtenida en un año de buena cosecha y la producción del ciclo 2018.

c) Atributo adaptabilidad

La adaptabilidad se entiende como la capacidad del agroecosistema para continuar brindando beneficios ante cambios o presiones de largo plazo, bien sean de tipo biofísicas o socioeconómicas (Masera *et al.*, 1999). Dado que la variabilidad climática, los altos costos de producción y la escasez de mano de obra, son tres factores que limitan el cultivo de la milpa, se propuso evaluar los indicadores capacidad de adaptación a las variaciones del clima y jornales cubiertos con mano de obra familiar.

Capacidad de adaptación a las variaciones del clima

Este indicador, a diferencia del resto, se evaluó a escala de unidad familiar campesina y se midió a través del número de estrategias que realizan para enfrentar la variabilidad climática y minimizar sus impactos negativos. Previo a la aplicación de la encuesta, a través de la observación participante y de los talleres participativos, se identificó que a nivel local existen tres prácticas que permiten enfrentar la variabilidad climática, estas son: la siembra de milpa en más de una parcela, la siembra en dos microclimas y el riego. Por lo tanto, además de preguntar a los campesinos si realizan alguna practica o estrategia para minimizar los efectos negativos de la variabilidad climática, se averiguó la presencia o ausencia de las tres prácticas antes mencionadas.

Jornales cubiertos con mano de obra familiar

Se calculó el porcentaje de jornales cubiertos con mano de obra familiar, con respecto al total necesario para realizar las actividades de un ciclo agrícola, desde la preparación del terreno hasta la cosecha.

d) Atributo equidad

La equidad hace referencia a la distribución justa, tanto intra como intergeneracionalmente, de los beneficios y costos (o trabajo) del agroecosistema (Masera *et al.*, 1999). En términos prácticos esto supone que, tanto en el presente como en el futuro los beneficios y los costos puedan distribuirse entre todos los miembros de la unidad familiar. Dado que el cultivo de milpa tiene por objetivo el autoabasto familiar, se asume que los beneficios son para todos sus miembros. Sin embargo,

durante la identificación de los puntos críticos se detectó que la participación de estos ha disminuido y que las generaciones jóvenes tienen desinterés en la agricultura. Por lo tanto, para este atributo se propusieron los indicadores relevo generacional y participación familiar en el trabajo agrícola.

Relevo generacional

El relevo generacional se evaluó mediante una escala cualitativa de tres elementos: incierto, probable y muy probable. La selección de uno u otro elemento para cada agroecosistema se asignó con base en los criterios listados a continuación y la información de los integrantes de la unidad familiar (edad, ocupación, participación en las actividades agrícolas e interés en la agricultura) obtenida a través de la encuesta.

Relevo generacional muy probable. Al menos uno de los integrantes de la unidad familiar menores de 30 años participa activamente en el trabajo de la parcela y no estudia.

Relevo generacional probable. Al menos uno de los integrantes de la unidad familiar menores de 30 años: a) participa en alguna actividad del ciclo agrícola y no estudia, o b) participa en alguna actividad del ciclo agrícola y, aunque estudia está interesado por continuar con la actividad agrícola.

Relevo generacional incierto. Los integrantes de la unidad familiar menores de 30 años: a) participan en algunas actividades del ciclo agrícola, pero estudian, b) son muy pequeños para demostrar interés por la agricultura, o c) no participan en ninguna actividad y son profesionistas.

Tales supuestos se eligieron porque durante la aplicación de la encuesta, estos fueron mencionados por los campesinos como criterios que les permiten predecir si las generaciones jóvenes seguirán o no practicando la agricultura. La edad referente se eligió como un valor arbitrario para diferenciar a la población adulta de la joven.

Participación familiar en el trabajo agrícola

Se midió a través del porcentaje de integrantes de la familia mayores de seis años, que participan por lo menos en una de las labores del ciclo agrícola.

e) Atributo autogestión

La autogestión se entiende como la capacidad para regular y controlar sus interacciones con el exterior (Masera *et al.*, 1999). De acuerdo con esta definición, un agroecosistema autogestivo es aquel que no depende de factores o recursos externos. Para esta evaluación se propusieron como indicadores la dependencia de insumos químicos y de apoyos gubernamentales.

Dependencia de insumos químicos

Se calculó a través del porcentaje que representa la adquisición de fertilizantes con respecto al costo total de producción. Solo se consideraron los fertilizantes dado que son el único tipo de insumos químicos utilizados.

Dependencia de apoyos gubernamentales

Se calculó a través del porcentaje de los costos totales que se cubren por medio de los apoyos recibidos.

5.3.4 Análisis e integración de los indicadores

Los datos de los indicadores de sustentabilidad por agroecosistema se compilaron en un documento Excel. En un primer ejercicio, los indicadores se analizaron con base en el contraste de los dos grupos de agroecosistemas propuestos al inicio de la investigación⁷. Sin embargo, dado que se presentó una gran variabilidad en los resultados encontrados, esta clasificación no resultó adecuada para su interpretación, por lo que se realizó un análisis multivariado para reagrupar los agroecosistemas. Los métodos utilizados fueron el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis clúster. Ambas pruebas se realizaron de manera consecutiva con la paquetería Rcmdr del software libre R (Fox y Bouchet-Valat, 2019). Del total de indicadores, en el ACP solo se evaluaron los siete que tuvieron correlaciones significativas ($\alpha = 0.05$)⁸. Estos fueron: rendimiento de maíz, relación beneficio costo neta, autosuficiencia de maíz⁹, dependencia de insumos

⁷ El Sistema de Manejo Alternativo (SMA) integró a aquellos donde, por medio de la observación en campo, se identificó prácticas de conservación del suelo y diversificación de cultivos (A1 - A6), mientras que el Sistema de Manejo de Referencia (SMR) agrupó a los seis agroecosistemas donde no se observaron estas prácticas (A7 - A12)

⁸ Las correlaciones se obtuvieron de acuerdo a los test de Pearson y Spearman, según su comportamiento normal o no, respectivamente.

⁹ Los indicadores rendimiento de maíz, relación beneficio-costo neta y autosuficiencia de maíz, corresponden a los valores calculados para un año de buena producción.

químicos, jornales cubiertos con mano de obra familiar, agrobiodiversidad y autosuficiencia de productos básicos.

Para realizar el análisis comparativo de la sustentabilidad, todos los indicadores se transformaron a una escala estandarizada de 0 a 100 mediante el método de intervalo de referencia (Galván-Miyoshi, 2008). En el Cuadro 3, se presentan los valores de referencia de los indicadores evaluados y el criterio de selección del valor óptimo.

El promedio o moda (por conglomerado) de los indicadores cuantitativos, así como los valores de los estudios de caso, se transformaron a la escala estandarizada con base en las fórmulas que se muestran a continuación. Por su parte, a los indicadores cualitativos se les asignaron valores entre 0 y 100 con base en el número de sus categorías.

Si la condición para alcanzar la sustentabilidad es maximizar: $d = \frac{(V-V_{min})}{(V_{max}-V_{min})} * 100$

Si la condición para alcanzar la sustentabilidad es minimizar: $d = \frac{(V_{max}-V)}{(V_{max}-V_{min})} * 100$

Donde: d = valor que adquiere el indicador en la escala de 0 a 100; V = valor de cada conglomerado o estudio de caso por indicador; Vmax = valor óptimo; Vmin = valor crítico.

Cuadro 3. Valores óptimos utilizados para la estandarización de los indicadores de sustentabilidad evaluados en los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Indicadores	Unidad	Valor crítico	Valor óptimo	Criterio para el valor óptimo
Rendimiento de maíz	kg ha ⁻¹	0	3500	Máximo reportado en taller
Costos de producción	\$ ha ⁻¹	32000	16000	Mínimo encontrado
Relación beneficio-costo	Coefficiente	0	1	Sin pérdidas monetarias
Autosuficiencia de maíz	Meses	0	12	Autosuficiencia familiar por un año
Autosuficiencia de productos básicos	%	0	100	Abasto de los productos agrícolas consumidos
Agrobiodiversidad (especies y variedades agrícolas)	Nº	1	9	Milpa diversificada (6 cultivos y al menos tres con dos variedades)
Diversidad circundante (grupos vegetales)	Nº	0	3	Total de grupos vegetales identificados
Manejo del suelo	Nº	0	36	Valor máximo del indicador compuesto
Materia orgánica	%	0	3.5	Nivel alto para suelos de zonas templadas (Castellanos et al., 2000)
Prácticas para el control de la erosión	Nº	0	3	Máximo de prácticas que pueden tener las parcelas por sus condiciones físicas
Afectación de cultivos por plagas y enfermedades	Cualitativa	Casi todo/todo	Nada/Muy poco	Mínima o nula pérdida
Merma de la producción de maíz por eventos climáticos	%	100	0	Nula pérdida
Capacidad de adaptación a las variaciones del clima (estrategias)	Nº	0	4	Máximo de estrategias documentadas
Jornales cubiertos con mano de obra familiar	%	0	100	Total de jornales
Relevo generacional	Cualitativa	Incierto	Muy probable	Certidumbre del relevo generacional
Participación familiar en el trabajo agrícola	%	0	100	Total de los integrantes de la familia mayores de seis años
Dependencia de insumos químicos	%	20	0□□	Nula dependencia
Dependencia de apoyos gubernamentales	%	100	0	Nula dependencia

5.4 Análisis de suelos

5.4.1 Muestreo

El muestreo se realizó en enero de 2019 en las parcelas de los agroecosistemas de estudio, que tienen entre 800 y 2600 m² de superficie. Para ese momento en la mayoría de las parcelas los restos de cultivo ya habían sido retirados, aunque en tres aún no se realizaba el corte de los rastrojos de maíz. En cada parcela tomaron tres muestras compuestas, cada una conformada a partir de cinco submuestras. El diseño de muestreo fue sistemático en zig-zag.

Las submuestras se tomaron con pala recta a una profundidad de entre 15 y 30 cm según lo permitieron las condiciones del terreno, pero siempre se mantuvo la misma profundidad por parcela. Estas se depositaron en un bote y después de completar cada muestra se homogeneizó y redujo a aproximadamente 1.5 kg de suelo. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno y se etiquetaron para su transporte al laboratorio de Génesis de suelos del Colegio de Postgraduados.

5.4.2 Análisis de laboratorio

Las muestras se secaron a la sombra y se tamizaron en una malla de 2 mm. Las propiedades físicas y químicas se determinaron con base en las técnicas del manual “Procedimientos para análisis de suelos: clasificación y correlación” de Van Reeuwijk (1999). La textura se determinó por el método de la pipeta. El pH se midió en una solución suelo-agua 1:10 (p/v) y la conductividad eléctrica en extracto de saturación. El nitrógeno, fósforo y materia orgánica se determinaron por los métodos micro-Kjeldahl, Bray y Kurtz 1, y Walkley y Black, respectivamente. La capacidad de intercambio catiónico y las bases intercambiables se determinaron por el método de acetato de amonio.

La respiración microbiana del suelo se determinó mediante la medida del CO₂ desprendido, según la metodología de Anderson (1982). Se colocaron 30 g de suelo en frascos con tapa hermética y se humedeció a su capacidad de campo. Después se introdujo un vial con 15 mL de NaOH 1 N. Los frascos cerrados se mantuvieron en laboratorio a una temperatura media de 21.6 °C durante 31 días. A los 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28 y 31 días se realizó una titulación ácido-base para cuantificar indirectamente el CO₂ desprendido. En matraces Erlenmeyer de 24 mL se colocaron 5 mL de NaOH, 1 mL de BaCl₂ (0.05 M) y tres gotas de indicador de fenolftaleína. La titulación se hizo con HCl 0.5 N. Como testigo se utilizaron tres frascos que solo contenían el vial con NaOH.

Todas las muestras de suelo se analizaron por triplicado. La respiración microbiana se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$RM = \left(\frac{(T - M) * NHCl * FD}{P} \right) * 10^6$$

Donde: RM = respiración microbiana ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) T = mL de HCl gastados para la titulación del blanco; M = mL de HCl gastados para la titulación de la muestra; N = normalidad del HCl (0.05 N); P = peso seco de la muestra de suelo (30 g); FD = factor de dilución (0.006).

5.4.3 Análisis de las propiedades del suelo

Las propiedades químicas se analizaron con base en los estándares de fertilidad del suelo de la NOM-021 de la SEMARNAT, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (SEMARNAT, 2002) y del manual para la interpretación de análisis de suelos y aguas de Castellanos *et al.* (2000).

Se realizaron pruebas de correlación entre todas las propiedades del suelo analizadas. El test de correlación de Pearson se utilizó para las propiedades que tuvieron un comportamiento normal y el test de Spearman para aquellas que no siguieron este comportamiento. Adicionalmente, se realizó un test de correlación de Spearman entre la propiedad materia orgánica y las variables manejo del suelo, pendiente, y años de trabajo. Todas las pruebas se realizaron con el software libre R, versión 3.6 (RCoreTeam., 2019).

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Clasificación de los agroecosistemas

De acuerdo con el análisis clúster los agroecosistemas se clasificaron en tres conglomerados, diferenciados principalmente por los resultados obtenidos en el indicador relación beneficio-costo: El Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo (CABC), el Conglomerado de Media relación Beneficio Costo (CMBC) y el Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo (CBBC). Los tres conglomerados agruparon 10 agroecosistemas de la clasificación inicial de la investigación (A1, A3 -A4, A6 – A12), mientras que los dos restantes, agroecosistema 2 (A2) y agroecosistema 5 (A5), se trataron como estudios de caso porque representan “outlayers” en el indicador rendimiento de maíz (Figura 3).

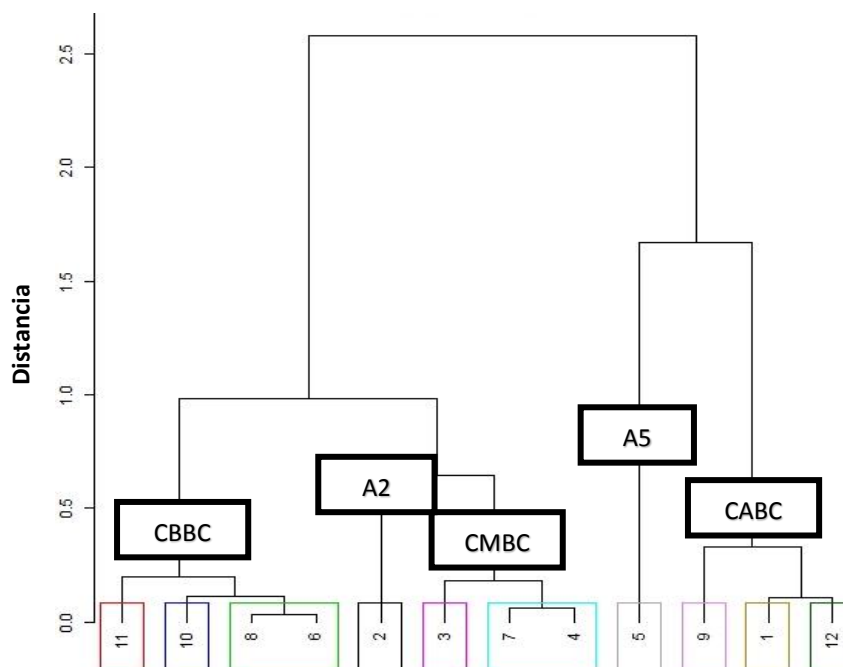


Figura 3. Dendrograma generado en el análisis clúster, para el agrupamiento de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca. CABC (Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo), CMBC (Conglomerado de Media relación Beneficio Costo), CBBC (Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo), A2 (Agroecosistema 2) y A5 (Agroecosistema 5).

6.2 La milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca

En La Trinidad Ixtlán, la milpa está integrada por la asociación de maíz, (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *P. coccineus* L.), calabaza (*Cucurbita. pepo* L.), chilacayota (*C. ficifolia* B.) y los quelites “quintonil” (*Amaranthus hybridus* L.) y “mostaza” (*Brassica rapa* L.), aunque en algunas parcelas también es común encontrar haba (*Vicia faba* L.) y árboles frutales. Las semillas que se utilizan son nativas. Se siembran tres tipos de maíz: “maíz blanco”, “maíz pinto” y “maíz amarillo”. Las variedades de *P. coccineus* L. localmente se conocen como “frijol zalaya” y “frijol zatope”, mientras que el “frijol yumil” corresponde a *P. vulgaris* L.

Las familias campesinas de La Trinidad Ixtlán tienen entre una y tres parcelas agrícolas donde siembran la milpa; estas parcelas, que pueden ubicarse en diferentes zonas, integran el subsistema agrícola, uno de los tres subsistemas de la unidad de producción campesina típica de esta comunidad (Figura 4). No obstante, la evaluación de sustentabilidad solo se realizó en una parcela de milpa por unidad familiar.

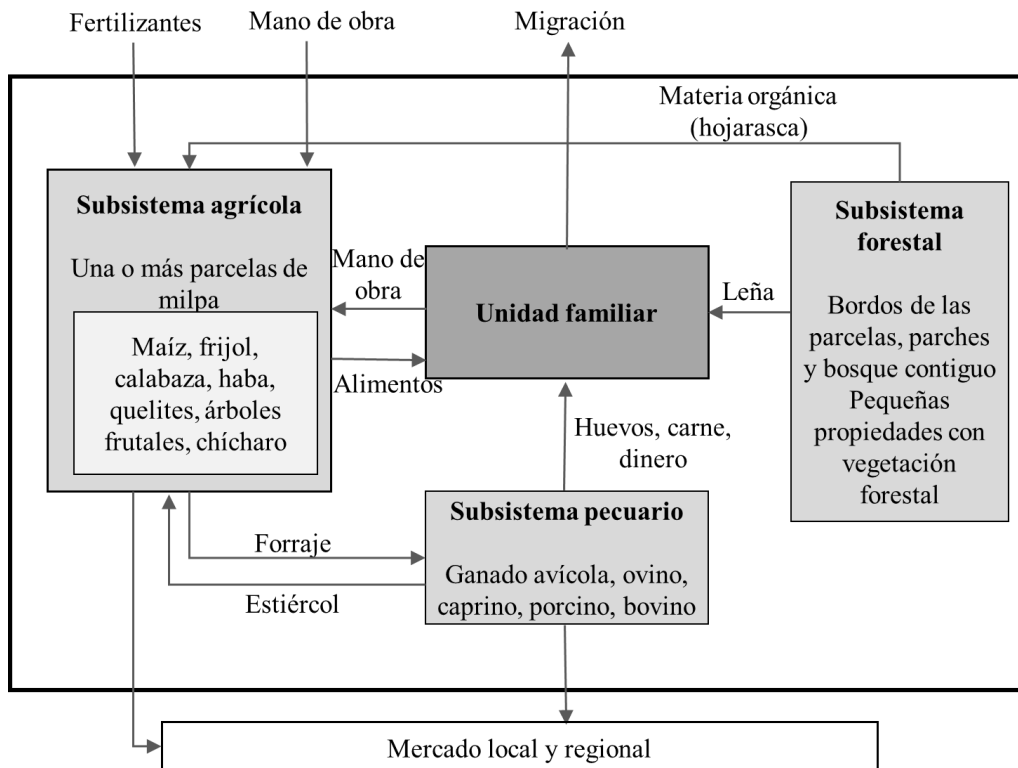


Figura 4. Sistema de producción de la unidad campesina típica de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

A continuación, se describen las actividades y el calendario de cultivo de la milpa para la zona agrícola media, que es donde se ubican las parcelas evaluadas. El ciclo inicia con la preparación del terreno e incluye dos actividades: el corte de rastrojos y hierbas, y la remoción del suelo. Esta última se realiza con herramientas manuales, yunta o tractor¹⁰ según lo permitan las condiciones del terreno y la disponibilidad de yuntas; cuando se utilizan herramientas manuales la actividad se denomina “quebrada de tierra” y cuando se utiliza yunta o tractor se llama “arada”.

La segunda actividad es la siembra y se puede realizar “mateado” o “en su surco”; la primera requiere únicamente del uso de coa, mientras que la segunda involucra también el trabajo de la yunta. Por cada mata de milpa, se siembran de 3 a 5 semillas de maíz, y eventualmente una de frijol, calabaza o haba; la distancia que se deja entre matas y surcos varía en un rango de 75 a 100 cm y de 60 a 90 cm, respectivamente, por lo que se tienen densidades de siembra de maíz entre 44 400 y 88 312 plantas ha⁻¹. El periodo de siembra normalmente es de mayo a junio, aunque también se llega a sembrar a finales de abril (Figura 5).

Un mes después de la siembra se realiza la “limpia”, es decir, se retiran las hierbas que crecen alrededor de los cultivos con ayuda de herramientas manuales. La fertilización se realiza días antes de la limpia o al mismo tiempo, y consiste en la aplicación de fertilizantes químicos a los alrededores de las plantas de milpa. Los nombres comerciales y las formulaciones N-P-K de los fertilizantes utilizados son: sulfato de amonio (21-0-0), urea (46-0-0) y fosfato diamónico (18-46-0); estos pueden aplicarse solos o combinados.

La arrima consiste en amontonar tierra a las plantas y quitar las hierbas que han crecido nuevamente; se realiza un mes después de la limpia. El ciclo termina con la cosecha de maíz, frijol y calabaza en los meses de noviembre a enero, sin embargo, durante el periodo de marzo a noviembre las familias obtienen distintos alimentos de la milpa, tales como frutas, calabacitas, quelites, frijol en ejote, haba y elotes. En algunos casos, una vez terminada la cosecha se siembra chícharo como cultivo de rotación. Este se cosecha en el mes de abril y, de acuerdo con lo señalado por los campesinos, tiene un triple propósito: brindar alimento a la familia, obtener ingresos monetarios por su venta y fijar nitrógeno en el suelo.

¹⁰ Solamente en uno de los agroecosistemas se reportó el uso de tractor.

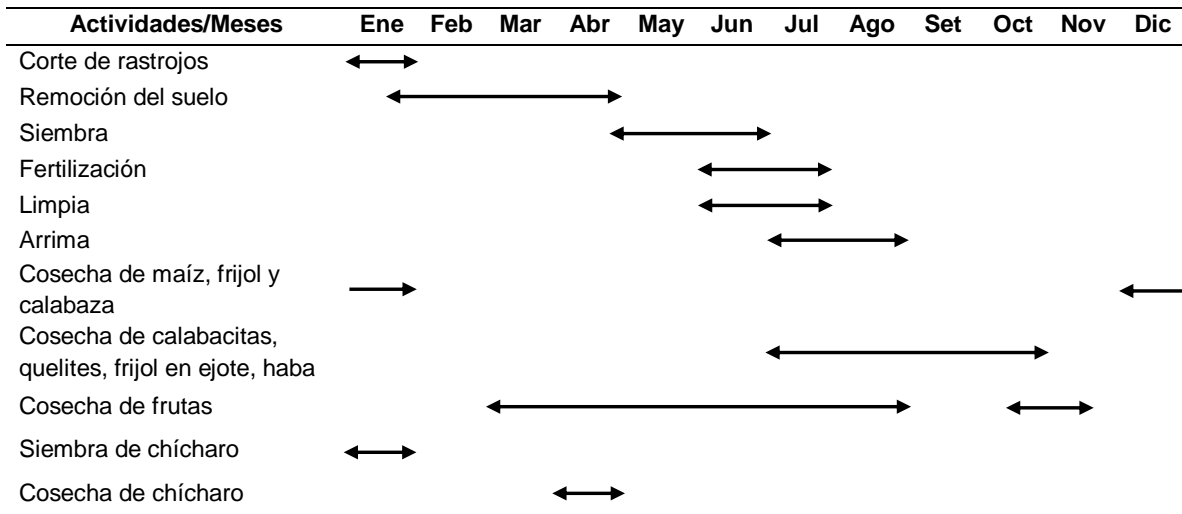


Figura 5. Calendario agrícola del cultivo de milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

6.3 Características de los agroecosistemas

Las características biofísicas, de manejo y socioeconómicas de los agroecosistemas estudiados, según la clasificación de conglomerados y estudios de caso, se resumen en el Cuadro 4. Estos sistemas se ubican dentro del área urbana de la comunidad y de la zona agrícola media (Anexo 2) en un rango altitudinal de 2250 - 2500 m. En esta zona, gran parte de la superficie está ocupada por la infraestructura urbana (viviendas, caminos, edificios públicos) y por parcelas agrícolas, pero también existen parches y corredores de la vegetación original (bosque de pino-encino). Las parcelas donde se cultiva la milpa tienen pendientes de entre 10 y 50 %, y superficies entre 800 y 2600 m².

Además de la milpa básica (maíz, frijol, calabaza, haba y quelites), algunos agroecosistemas de los conglomerados también cuentan con árboles frutales y realizan la siembra de chícharo como cultivo de rotación. Los agroecosistemas A2 y A5 son casos especiales porque la milpa se siembra intercalada con árboles frutales (aproximadamente 90 árboles frutales en una superficie media de 0.13 ha). Para realizar la preparación del terreno y la siembra, en los agroecosistemas de los conglomerados se utilizan herramientas manuales, yunta o la combinación de ambas. Por su parte, en los agroecosistemas A2 y A5 solo se utilizan herramientas manuales debido a que la presencia de árboles frutales limita el uso de yunta.

Cuadro 4. Características biofísicas, de manejo y socioeconómicas de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018. Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo (CABC); Conglomerado de Media relación Beneficio Costo (CMBC); Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo (CBBC); Agroecosistema 2 (A2); Agroecosistema 5 (A5).

Variab les	CABC	CMBC	CBBC	A2	A5
Biofísicas	Clima: templado subhúmedo C(w2)(w). Temperatura media anual: 17.2 °C. Precipitación anual: 1014 mm. Altitud: 2250 – 2500 m. Pendiente de parcelas: 10 – 50 %				
Superficie cultivada (m ²)	900-2600	1100-1800	800-1600	1200	1600
Manejo					
Especies y variedades agrícolas	Milpa (maíz, frijol, calabaza, chilacayote, haba y quelites). Algunas parcelas cuentan con árboles frutales y realizan rotación del cultivo con chícharo.			Milpa intercalada con árboles frutales. Chícharo	Milpa intercalada con árboles frutales.
Tecnología para la preparación del terreno y siembra	Herramientas manuales, yunta o su combinación.			Herramientas manuales	
Fertilizantes químicos N, P, K (kg ha ⁻¹)	161-111-0	41-0-0	78-0-0	44-0-0	67-0-0
Control de arvenses	Herramientas manuales				
Control de plagas y enfermedades	Ninguna				
Socioeconómicas					
Destino de la producción	Autoconsumo familiar.	Autoconsumo familiar. Venta local de frutas y productos de la milpa.		Autoconsumo familiar. Venta local de frutas y productos de la milpa	Autoconsumo familiar. Venta local de frutas
Mano de obra predominante	Familiar	Familiar	Contratada	Familiar	Contratada
Edad de jefes (as) de familia (años)	44-55	78-86	56-69	77	55.

En todos los agroecosistemas se utilizan fertilizantes nitrogenados, sin embargo, los del CABC son los que aplican una mayor cantidad, además de que también utilizan fertilizantes fosfatados. El control de las arvenses se realiza con herramientas manuales y no se utiliza ningún método para el control de plagas y enfermedades.

El objetivo principal de los agroecosistemas de milpa es el autoabasto familiar, no obstante, tanto las familias del CMBC, CBBC, A2 y A5 llegan a vender excedentes de frutas, haba, chícharo, frijol en ejote, calabazas y maíz a nivel local y regional. En los agroecosistemas del CABC, CMBC

y A2, el tipo de mano de obra predominante para realizar los trabajos de la parcela es familiar, mientras que en el CBBC y el A5 se contratan un mayor número de jornales.

En promedio, las unidades familiares de los agroecosistemas de estudio tienen cuatro integrantes. Los hombres se encargan de los trabajos que requieren mayor esfuerzo físico, mientras que las mujeres, además de preparar los alimentos, participan en las labores de fertilización, cosecha y post-cosecha. También existen unidades familiares donde las mujeres son las responsables de coordinar los trabajos del ciclo agrícola o se involucran activamente en todas sus labores. La edad de los campesinos y campesinas jefes de familia de las unidades evaluadas, que son quienes realizan o coordinan las actividades agrícolas, se encuentra entre 44 y 86 años.



Figura 6. Paisaje y parcelas agrícolas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.



Figura 7. Milpa y actividades del ciclo de cultivo. (A-C) Asociación maíz, frijol, calabaza. (D) remoción del suelo con yunta (arada). (E) siembra con coa. (F) limpia de milpa con coa. (G) desgrane de maíz.

6.4 Evaluación de la sustentabilidad

6.4.1 Puntos críticos de los agroecosistemas

Se identificaron cuatro puntos críticos positivos: 1) conservación del sistema milpa, 2) muy baja o nula aplicación de insumos para el control de plagas y enfermedades, 3) presencia de árboles y especies frutales dentro y a los alrededores de las parcelas, y 4) presencia de prácticas para la conservación del suelo. Sin embargo, los dos últimos no aplican para todos los agroecosistemas evaluados.

Los puntos críticos negativos detectados fueron: 1) daño en cultivos y granos por plagas, 2) pérdida de la fertilidad del suelo, 3) decremento de los rendimientos, 4) pérdida de la autosuficiencia familiar, 5) altos costos de producción y baja rentabilidad, 6) dependencia en fertilizantes químicos, 7) inestabilidad de las cosechas debido a las variaciones del clima, 8) desinterés de las generaciones jóvenes, 9) dificultad para conseguir mano de obra, 10) menor participación de los integrantes de la familia en el trabajo de la parcela, y 11) poco apoyo del gobierno.

6.4.2 Indicadores de sustentabilidad

En el Cuadro 5 se resumen los valores obtenidos para los indicadores de sustentabilidad junto con el valor de referencia óptimo. En este se omiten los indicadores relevo generacional y dependencia de apoyos gubernamentales, dado que se analizan de manera independiente.

Rendimiento de maíz

En un año de buena producción, los agroecosistemas del CABC y el A5 son los únicos que obtienen valores por arriba del óptimo respecto al rendimiento de maíz (Cuadro 5). Sin embargo, tanto los antes mencionados como el CMBC y el CBBC duplican el rendimiento estatal de 1.1 t ha^{-1} (SIAP, 2019a) y los valores reportados para sistemas de producción ubicados en planicies (Domínguez-Hernández *et al.*, 2018; SIAP, 2019b). Esto hace pensar que se trata de agroecosistemas altamente productivos a pesar de las restricciones topográficas de la zona. El A2 obtiene el rendimiento de maíz más bajo debido a los daños ocasionados por animales silvestres¹¹, no obstante, la familia campesina puede obtener el maíz necesario para su alimentación porque siembra la milpa en una parcela más.

¹¹ Por la ubicación de este agroecosistema (cercana a una zona boscosa), la presencia de animales silvestres como venado, zorra, etc., es común.

Cuadro 5. Valores de los indicadores de sustentabilidad evaluados en agroecosistemas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018. Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo (CABC); Conglomerado de Media relación Beneficio Costo (CMBC); Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo (CBBC); Agroecosistema 2 (A2); Agroecosistema 5 (A5).

Indicadores (unidades)	CABC	CMBC	CBBC	A2	A5	Óptimo
Rendimiento de maíz (kg ha ⁻¹)	4426	2877	3141	503	5327	3500
Autosuficiencia de maíz (meses)	15	12	18	1	32	12
Costos de producción (\$ ha ⁻¹)	42395	29905	33938	35876	29169	16000
Relación beneficio-costo neta	2.3	1.8	0.7	0.5	2.0	1.0
Autosuficiencia de productos básicos (%)	36	46	35	70	83	100
Agrobiodiversidad (# especies y variedades agrícolas)	9	12	9	17	39	9
Diversidad circundante (# de grupos vegetales) [†]	2	2	2	3	3	3
Afectación de cultivos por plagas y enfermedades [†]	N	N	MP	MP	MP	N/MP
Merma de la producción de maíz por eventos climáticos (%)	94	71	53	75	76	0
Manejo del suelo	23	22	20	22	17	36
Materia orgánica del suelo (%)	2.97	3.41	3.62	3.74	5.93	3.5
Prácticas para el control de la erosión [†] (#)	1	2	1	2	1	3
Capacidad de adaptación a las variaciones del clima (# de estrategias) [†]	1	1	2	3	1	4
Jornales cubiertos con mano de obra familiar (%)	95	72	17	100	46	100
Participación familiar en el trabajo agrícola (%)	52	61	71	80	100	100
Dependencia de insumos químicos (%)	12	3	5	3	6	0

□ Indicadores para los cuales se presenta el valor de la moda en los conglomerados.

N: nada; MP: muy poco

Autosuficiencia de maíz

Aunque la mayoría de los agroecosistemas obtiene altos rendimientos de maíz, la producción real obtenida se encuentra en el rango de 200 a 1100 kg ciclo⁻¹ porque las superficies cultivadas son pequeñas (entre 800 y 2600 m²). A pesar de esto, tanto en los agroecosistemas de los conglomerados como en el A5, la producción obtenida alcanza para cubrir la autosuficiencia anual de las familias (Cuadro 5). Esto se debe a que, en promedio, en las familias de estudio el consumo per cápita por año es de 109 kg de maíz.

Costos de producción

Tanto los conglomerados como los estudios de caso reportaron costos de producción por arriba de \$ 29 000.00 ha⁻¹, mismos que son elevados en comparación con lo reportado para sistemas de producción similares (Arnés *et al.*, 2013; Domínguez-Hernández *et al.*, 2018). Estos valores son

debidos a la alta cantidad de jornales demandados para las labores agrícolas (Cuadro 7), situación que a su vez se debe al uso predominante de herramientas manuales, que demandan mayor cantidad de trabajo (Masera y Astier, 1993).

En este estudio se encontró que se requieren entre 149 y 200 jornales para cultivar una hectárea de milpa, incluidos los jornales hombre y jornales yunta (Cuadro 7). En Santa Martha Chelnahó, Chiapas, Ruiz y colaboradores (2006) calcularon que se necesitan 135 jornales para realizar las diferentes actividades del cultivo de la milpa, mientras que en Huatepec, Oaxaca, Carrera-García *et al.* (2012) reportaron un total de 115. En los agroecosistemas de estudio se producen entre 0.3 y 4.4 kg de este grano por hora de trabajo invertida, valor que es bajo en comparación con la productividad de los sistemas de producción de maíz de la Comarca Lagunera, donde se utiliza maquinaria (Ríos *et al.*, 2010).

En el Cuadro 6, se observa que, tanto en los agroecosistemas de los conglomerados como en el A2 y A5, la remoción del suelo, la limpia y la arrima son las actividades del ciclo agrícola que demandan mayor cantidad de jornales. Esto se debe a que, a excepción de la remoción del suelo, dichas labores se realizan solo con coa.

Cuadro 6. Porcentaje de jornales utilizados en cada actividad del ciclo agrícola de milpa, en los agroecosistemas de estudio de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018. Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo (CABC); Conglomerado de Media relación Beneficio Costo (CMBC); Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo (CBBC); Agroecosistema 2 (A2); Agroecosistema 5 (A5).

Actividad	CABC	CMBC	CBBC	A2	A5	Herramientas utilizadas
Corte de rastrojos	12	8	13	4	13	Machete
Remoción del suelo	29	20	16	13	25	Pico, yunta
Siembra	9	9	14	8	8	Coa, yunta
Limpia	23	21	23	25	21	Coa
Fertilización	4	3	6	4	4	No aplica
Arrima	14	27	13	25	17	Coa
Cosecha	10	12	15	21	13	No aplica

Cuadro 7. Cálculo de los indicadores costos de producción y relación beneficio-costo para los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018. Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo (CABC); Conglomerado de Media relación Beneficio Costo (CMBC); Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo (CBBC); Agroecosistema 2 (A2); Agroecosistema 5 (A5).

Entradas (unidades)	Costo unitario (\$ unidad entrada ⁻¹)	CABC		CMBC		CBBC		A2		A5	
		Entradas (unidades ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)	Entradas (unidades ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)	Entradas (unidades ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)	Entradas (unidades ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)	Entradas (unidades ha ⁻¹)	Costos (\$ ha ⁻¹)
Mano de obra (# jornales)	180	194	34848	138	24863	127	22880	193	34702	152	27394
Familiar	30	194	5808	123	3688	27	809	193	5784	70	2093
Contratada	180	0	0	15	2736	100	18029	0	0	82	14838
Tracción animal (# yuntas)	380	6	2408	11	4044	25	9336	0	0	0	0
Fertilizantes (kg)											
Sulfato de amonio	6	351	1967	169	947	189	1058	210	1174	317	1776
Urea	8	94	753	6	51	83	665	0	0	0	0
Fosfato diamónico	10	242	2419	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo total (\$ ha⁻¹)			42395		29905		33938		35876		29169
Costo neto (\$ ha⁻¹)			13356		11466		29896		6957		18706
Salidas (unidades)	Precio unitario (\$ unidad de salida ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Beneficios (\$ ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Beneficios (\$ ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Beneficios (\$ ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Beneficios (\$ ha ⁻¹)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Beneficios (\$ ha ⁻¹)
Maíz grano (kg)	7	4426	30983	2877	20138	3141	21988	503	3521	5327	37286
Rastrojo de maíz (producción total)	150		150		150		150		150		150
Ingreso total (\$ ha⁻¹)			31133		20288		22138		3671		37436
Relación beneficio- costo total			0.73		0.68		0.65		0.10		1.28
Relación beneficio- costo neta			2.33		1.77		0.74		0.53		2.00

Relación beneficio-costo neta – Jornales cubiertos con mano de obra familiar

Como se mencionó anteriormente, en la mayoría de los agroecosistemas de estudio predomina el uso de mano de obra familiar para realizar las labores agrícolas. Esta estrategia campesina permite disminuir la inversión monetaria y obtener una relación beneficio-costo neta mayor a la unidad. Así, por ejemplo, aunque el CABC tiene los costos de producción más altos, su coeficiente neto es mayor que 2.0 porque 95 % de los jornales se cubren con mano de obra familiar. Por el contrario, el CBBC no supera la unidad, dado que el trabajo familiar solo representa 17 % de los jornales (Cuadro 7). Esto se debe a que dentro del conglomerado existen dos agroecosistemas donde la totalidad de los jornales son contratados porque las jefas de familia son mujeres mayores de 60 años y sus hijos se emplean en otras actividades.

El A5 es el agroecosistema que mejor desempeño tiene respecto a la relación beneficio-costo total y neta. Esto se debe a su alto rendimiento y menor costo total, lo que permite obtener un coeficiente mayor que uno aun cuando todos los jornales fueran contratados. En contraste, aunque el A2 tiene los costos netos más bajos, porque todos los jornales se cubren con mano de obra familiar, este no alcanza el coeficiente óptimo debido al bajo rendimiento de maíz (Cuadro 7).

Tanto en el A2 como en el CBBC, el coeficiente indica una rentabilidad negativa del cultivo de milpa, sin embargo, este indicador no refleja la realidad, dado que solo se contabilizaron los beneficios obtenidos por el maíz. De acuerdo con los campesinos, cuando se consideran los otros cultivos que integran la milpa (frijol, calabaza, haba, frutales, quelites) así como aquellos productos que se llegan a vender, el beneficio es mayor y, por lo tanto, la relación beneficio-costo se incrementa. Cabe destacar que todas las familias campesinas del estudio, a excepción de las que integran el CABC, llegan a vender excedentes de productos que obtienen de sus parcelas de milpa. Arnés *et al.* (2013), encontraron que, al incluir todos los cultivos en el cálculo de la relación beneficio-costo, los sistemas diversificados de maíz obtuvieron coeficientes mayores que 2.0.

Agrobiodiversidad

Tanto los conglomerados como los estudios de caso, tienen una alta agrobiodiversidad, misma que incluye maíz, frijol (zalaya, zatope, yumil, negro), calabaza, chilacayota, quelites (quintonil y mostaza), haba, chícharo, trigo, y árboles frutales. Los cinco primeros cultivos conforman la milpa básica y son comunes a todos los agroecosistemas. El haba también se siembra en asociación a los

anteriores, pero no en todas las parcelas. En ocho de los doce agroecosistemas, se siembra al menos un cultivo de rotación, bien sea trigo, haba, frijol negro o chícharo, pero este último es el que predomina. Los frutales más comunes son manzana, pera y durazno.

El A2 y A5 son los agroecosistemas que presentan un mayor número de especies y variedades agrícolas, dado que la milpa se siembra intercalada con árboles frutales. En ambos casos existen cerca de 90 árboles, mismos que se distribuyen en una superficie media de 0.13 ha. Además de manzana, pera y durazno, estos agroecosistemas tienen frutales como nogal, aguacate, membrillo, tejocote, chile, y ciruela, entre otros.

Autosuficiencia de productos básicos

Los datos sobre la diversidad agrícola registrados, indican que se promueve la autosuficiencia por la incorporación de otros productos básicos para la alimentación familiar ($Rho = 0.8879$, $p\text{-value} = 0.0001$), mismos que están disponibles en diferentes momentos del año. La ventaja es mayor para el A2 y el A5 debido a que tienen diferentes árboles frutales, lo que promueve que puedan obtener de su parcela 70 y 83 % de un total de 23 productos agrícolas que consume la familia¹². Altieri y Toledo (2011) indican que esta estrategia de diversificación, característica de los sistemas campesinos, mantiene estable la producción y maximiza su rentabilidad.

Diversidad circundante

Al respecto de la diversidad vegetal no agrícola, se encontró que alrededor de las parcelas de milpa se presentan tres grupos vegetales perennes: setos y arbustos, árboles y plantas con flores. En las parcelas del A2 y A5 se presentan los tres grupos, mientras que en las de los conglomerados únicamente se presentan dos, con un predominio de árboles y, setos y arbustos.

Estudios recientes han encontrado que la presencia de especies vegetales silvestres, tanto dentro como a los alrededores de los campos agrícolas, en especial aquellas con flores, promueven una mayor abundancia de enemigos naturales, y con ello la regulación de las plagas agrícolas a través del parasitismo y la depredación (Balmer *et al.*, 2013; Ramsden *et al.*, 2014). Estos espacios propician tal mecanismo debido a la provisión de hábitat, polen, néctar y, presas u hospederos

¹² La lista incluye los siguientes cultivos: frijol yumil, frijol zatope, frijol zalaya, calabaza, chilacayota, quintonil, mostaza, haba, chícharo, trigo, papa, chile, chayote, aguacate, durazno, ciruela, manzana, limón, membrillo, pera, nuez, higo y tejocote.

alternativos para los enemigos naturales de las plagas (Bianchi *et al.*, 2006; Ratnadass *et al.*, 2011; Nicholls y Altieri, 2012).

Afectación de cultivos por plagas y enfermedades

Aunque en la mayoría de los agroecosistemas (66 %) se reportó la existencia de plagas y enfermedades, todos los campesinos mencionaron tener mínimas o nulas pérdidas a causa de las mismas. Las plagas reportadas por los campesinos fueron: gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* S.), picudo chico y grande del maíz (*Nicentrites testaceipes* C. y *Geraeus senilis* G.), gallina ciega (*Phyllophaga* sp.), pulgón del haba (*Aphis fabae* sp.), “cochinilla”, “mosquita blanca” y picudo del maíz (*Sitophilus zeamais* M.). Para el caso de los frutales, se reportó la presencia de un insecto denominado como “mallita”, un gusano que afecta a los árboles de tejocote y membrillo, y enfermedades no identificadas que afectan al tronco y los frutos (Cuadro 8).

Solo en dos agroecosistemas se reportó la aplicación de agroquímicos para su control. En ambos se utiliza el insecticida folífolo (O,O-dimetil O-4-nitrofenil fosforotioato). Este se aplica de manera manual en sitios puntuales donde se detecta la presencia de picudo de maíz, pulgón del haba o gusano cogollero. Sin embargo, cuando se llega a utilizar, solo se aplica una vez por ciclo de cultivo.

Cuadro 8. Plagas y enfermedades reportadas en los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Nombre de la plaga o enfermedad	Cultivo que afecta	Frecuencia de agroecosistemas donde se presenta
Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i> S.)	Maíz	2
Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> sp.)	Maíz	2
Picudo chico y grande del maíz (<i>Nicentrites testaceipes</i> C. y <i>Geraeus senilis</i> G.)	Maíz	1
Pulgón del haba (<i>Aphis fabae</i> sp.)	Haba	1
“Cochinilla”	Calabaza	1
“Mosquita blanca”	Calabaza	1
“Mallita”	Árbol de manzana	1
Picudo del maíz (<i>Sitophilus zeamais</i> M.)	Maíz mazorca	1
Gusano del tejocote y membrillo	Árbol de tejocote y membrillo	2
Enfermedades de frutales	Árbol de manzana, durazno y tejocote	2

Merma de la producción de maíz por eventos climáticos

En la región de estudio, durante el ciclo de producción 2018 la precipitación en los meses de junio a septiembre, en especial durante el mes de julio, fue menor a la media, mientras que las temperaturas mínimas fueron superiores al promedio (Figura 8). Ambas situaciones fueron asociadas por los campesinos a un evento de sequía¹³, misma que provocó la merma de más de 50 % en la producción de maíz. Las pérdidas fueron generalizadas para todos los agroecosistemas, pero se observó que los del CABC fueron los más afectados al perder casi 95 % de la producción de este grano. En los agroecosistemas del CMBC, así como el A2 y A5 la producción disminuyó alrededor de 75 %, mientras que en aquellos del CBBC la pérdida fue, en promedio, de 56 %. A pesar de los porcentajes de pérdida, el CBBC y el A5 lograron obtener un rendimiento por arriba de la media estatal de 1.1 t ha⁻¹ (SIAP, 2019a).

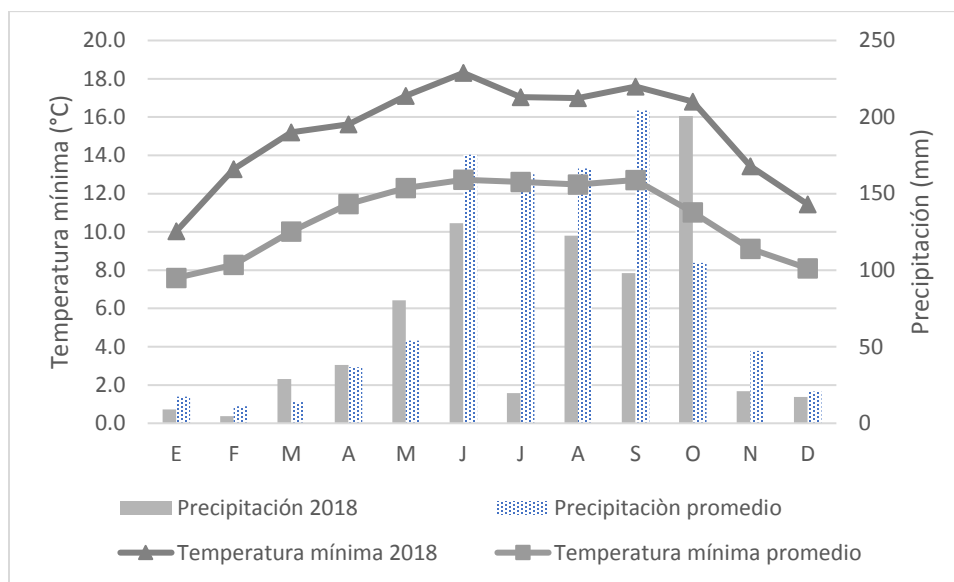


Figura 8. Estadísticas de precipitación y temperatura promedio mensual en el período 1956-2018 comparadas con los valores del año 2018 para la región de estudio. Fuente: IRI, 2018; CONAGUA-SMN, 2019; IRI, 2019.

La sequía fue el evento climático que ocasionó daños en todos los agroecosistemas, no obstante, tanto el A2 como el A5 reportaron afectaciones a causa de las lluvias extremas que se presentaron en el mes de octubre (Figura 8). Estas provocaron el acame y el consecuente daño en la mazorca, por pudrición y por animales silvestres. Estos eventos asociados a la variabilidad climática están

¹³ Los campesinos utilizan el término sequía para referirse a la llegada tardía de la temporada de lluvias, así como al decremento de su cantidad durante cierto periodo respecto al promedio anual (Conde y Ferrer, 2006).

ocasionando daños en los sistemas campesinos dependientes de las lluvias de temporal. Por ejemplo, Eakin (2005) reportó que en comunidades de Tlaxcala que recibieron solo 40 % de la precipitación promedio durante el periodo de abril a junio y, casi el doble de lluvia en los meses de julio y octubre, se presentaron perjuicios en más del 75 % de las áreas sembradas. Harvey *et al.* (2018) hallaron que 50.9 % de los campesinos entrevistados durante un estudio en Guatemala, Honduras y El Salvador, han tenido pérdidas por arriba de 50 % de su cultivo a causa de los eventos climáticos extremos.

Manejo del suelo

En el indicador compuesto manejo del suelo, 75 % de los agroecosistemas obtuvo valores en el rango de 50 a 78 con respecto a la escala estandarizada de 0-100 y solo 25 % obtuvo valores menores que 50. En la Figura 9, se observa que en las variables tecnología para preparar el terreno, número de residuos orgánicos aplicados, tiempo de cobertura del suelo, forma de control de las arvenses, periodicidad de rotación con leguminosas, y manejo de los rastrojos destinados para la parcela, la mayoría de los agroecosistemas obtuvieron un desempeño por arriba del nivel dos (colores verde y naranja) de la escala estandarizada de 0 – 4 establecida para su valoración.

En general, los campesinos de los agroecosistemas de estudio utilizan herramientas manuales, arado o la combinación de ambos para preparar el terreno; aplican tres o más tipos de residuos orgánicos en las parcelas de milpa (principalmente rastrojos, biomasa de las arvenses, ceniza y hojarasca); mantienen cubierto el suelo con cultivos, rastrojos o arvenses entre ocho y 12 meses al año; controlan las arvenses solo con herramientas manuales (coa); realizan la rotación de milpa con leguminosas (comúnmente chícharo) al menos cada dos años e incorporan al suelo los rastrojos que se quedan en la parcela, sin realizar su quema. Todas estas prácticas contribuyen a mantener la calidad del suelo, debido a que aportan materia orgánica al suelo y evitan su erosión (Wezel *et al.*, 2014).

En contraste, las variables en las que un mayor porcentaje de agroecosistemas realiza acciones de manejo consideradas como menos adecuadas, en tanto que pueden afectar la calidad del suelo, son: tipo de fertilizante aplicado, relación años de trabajo - años de descanso y porcentaje de rastrojos destinados para la parcela. Respecto a estas variables, el manejo que prevalece en los agroecosistemas es la aplicación de fertilizantes químicos, el cultivo continuo de milpa sin

descanso de la parcela, y un bajo porcentaje de rastrojos destinados para la parcela (entre 0 y 20 %) debido a que la mayor parte se vende a las personas que tienen ganado vacuno (Figura 9).

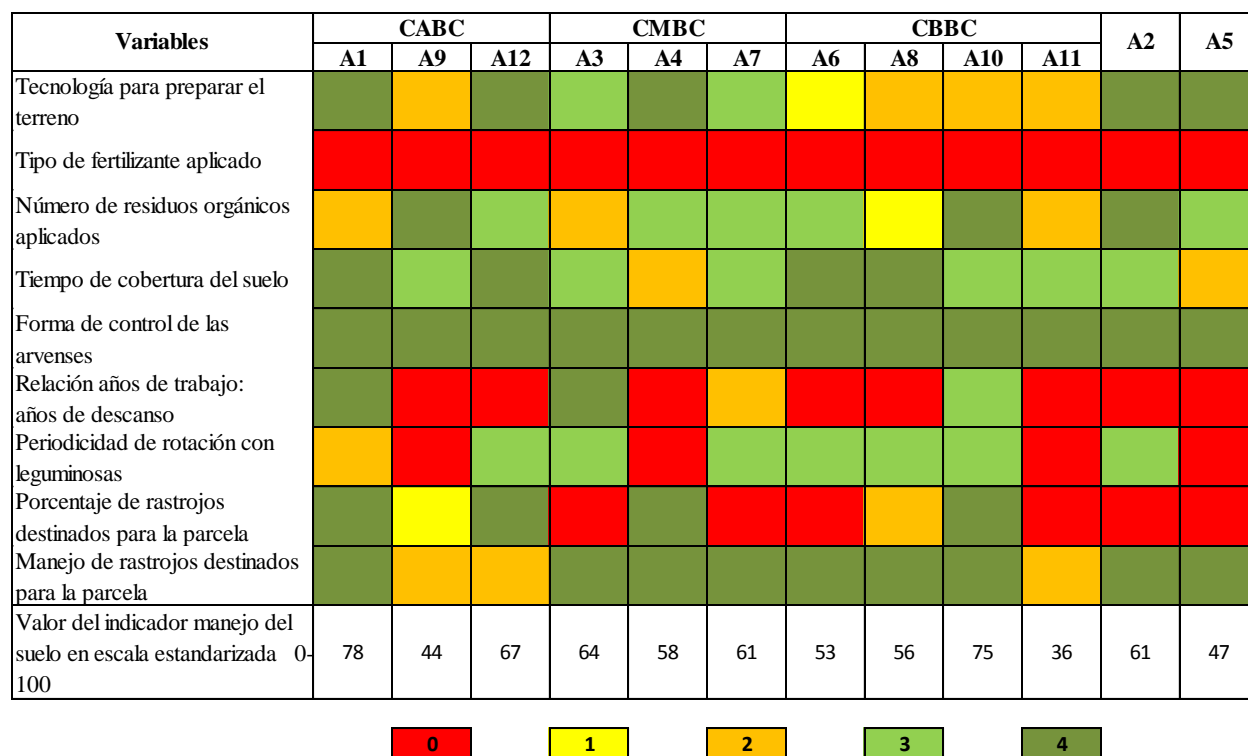


Figura 9. Desempeño de las variables del indicador compuesto manejo del suelo, según la escala estandarizada de 0-4, donde 4 (color verde) representa la condición ideal de manejo para los agroecosistemas de estudio.

Materia orgánica

Los niveles de materia orgánica encontrados fueron altos para todos los agroecosistemas, según los valores establecidos para suelos de zonas templadas y textura media (Castellanos *et al.*, 2000). El valor más bajo (2.97 %) lo obtuvo el CABC, pero es considerado como un nivel moderadamente alto. El CMBC, CBBC y el A2 obtuvieron valores clasificados como altos (3.41, 3.62 y 3.74 %, respectivamente), mientras que el A5 obtuvo un porcentaje considerado muy alto (5.93 %). Los valores obtenidos por los conglomerados y el A2 fueron similares a los reportados por Vergara-Sánchez y Etchevers-Barra (2006) para suelos de ladera cultivados con maíz y labranza tradicional en las microcuencas Mazateca y Cuicateca de la Sierra Norte de Oaxaca. Por su parte, el porcentaje obtenido por el A5, donde la milpa se siembra intercalada con árboles frutales, fue mayor a lo reportado por dichos autores para sistemas agrícolas mixtos (milpa y frutales).

Los resultados de la investigación demuestran que los niveles de materia orgánica no están correlacionados con la pendiente de las parcelas ($Rho = -0.3985$, $p\text{-value} = 0.1993$) ni con los años de trabajo de la misma ($Rho = 0.1837$, $p\text{-value} = 0.5676$). Esto indica que aun en parcelas con alta pendiente y un largo tiempo de trabajo, el nivel de materia orgánica se mantiene alto, lo cual infiere que los campesinos realizan un manejo adecuado del suelo. La relación pendiente-materia orgánica reportada por Villar *et al.* (2013) muestra resultados similares en suelos agrícolas de ladera en Chiapas; estos autores encontraron que la concentración de carbono no fue estadísticamente diferente en tres estratos de pendientes para suelos cultivados con maíz. Vergara-Sánchez y Etchevers-Barra (2006) señalan que el manejo que realizan los agricultores tradicionales ha permitido mantener reservas de carbono orgánico similares a las encontradas en sistemas naturales no perturbados.

No se encontró una correlación positiva entre los indicadores manejo del suelo y materia orgánica ($Rho = -0.2754$, $p\text{-value} = 0.3862$). Esto se puede explicar porque en el indicador manejo del suelo solo evaluó de manera cualitativa variables que influyen en los niveles de materia orgánica, mas no la intensidad y calidad de los materiales orgánicos que se incorporan. De acuerdo con Cotler *et al.* (2016) esta última condición es determinante en los niveles de materia orgánica y en la calidad del suelo.

Prácticas para el control de la erosión del suelo

Se documentaron cuatro prácticas para el control de la erosión del suelo: presencia de bordo vivo en la parte inferior de la parcela, barreras vivas dentro de la misma (árboles frutales), barreras muertas (rastros colocados en contra de la pendiente) y terrazas. En los agroecosistemas del CMBC y en el A2 se presentan dos prácticas, mientras que, en los del CABC, CBBC y el A5 solo se documentó una, de las cuales predominan las dos primeras (Anexo 3). Aunque no se midió el nivel de erosión del suelo, en ninguna de las parcelas se observó señales de este proceso, tales como la formación de cárcavas. Esto se puede explicar por los altos niveles de materia orgánica, misma que tiene la capacidad de mantener la agregación de las partículas del suelo (Altieri *et al.*, 2015) y por la cobertura que brindan los cultivos durante la temporada de lluvias.

Capacidad de adaptación a las variaciones del clima

La variabilidad climática es uno de los factores más importantes que afecta la sustentabilidad de los agroecosistemas de milpa evaluados. Al respecto, se documentó la existencia de cuatro prácticas que funcionan como estrategias de adaptación ante tal fenómeno: el cambio en las fechas de siembra, el riego de auxilio, la siembra en más de una parcela y la siembra en otro microclima. Las dos primeras se evaluaron a nivel de parcela, mientras que las dos últimas a nivel de unidad familiar.

El cambio de las fechas de siembra es la práctica que prevalece en todos los agroecosistemas analizados (Cuadro 9) y consiste en el retraso del periodo de siembra debido a la llegada tardía del temporal de lluvias. Al respecto, los campesinos mencionaron que hasta hace unos años el periodo de siembra era de la segunda semana de marzo a la segunda semana de mayo, porque se tenía certeza en que las lluvias llegarían entre finales de marzo y principios de abril. Ahora, los meses para sembrar son mayo y junio, y la actividad no se realiza hasta que se presenten las primeras precipitaciones. Esta estrategia también ha sido adoptada por campesinos de países de Centroamérica (Harvey *et al.*, 2018) y México. En la Mixteca Alta de Oaxaca, Rogé y Astier (2015) encontraron cambios similares en la siembra del maíz, misma que se ha retrasado cerca de un mes. Por su parte, en la comunidad Maya de Dziuché, han optado por esperar a que se presenten por lo menos tres precipitaciones intensas, mientras que antes sembraban enseguida de la primera lluvia de la temporada (Ebel *et al.*, 2018).

Cuadro 9. Estrategias de adaptación a la variabilidad climática implementadas por las unidades familiares de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Estrategias de adaptación	Frecuencia
Cambio en fechas de siembra	12
Riego de auxilio	3
Siembra en otra parcela	4
Siembra en otro microclima	2

El riego es una alternativa que tanto instituciones como campesinos han propuesto para enfrentar la variabilidad climática en zonas con agricultura de temporal (Conde y Ferrer, 2006). Sin embargo, la baja disponibilidad del recurso agua, las condiciones fisiográficas y la falta de infraestructura limitan su aplicación generalizada. En los agroecosistemas de estudio, solo tres

cuentan con este beneficio (Cuadro 9), que es denominado riego de auxilio porque solo se aplica cuando se presenta un periodo de sequía. En el ciclo 2018, tal estrategia permitió que uno de los agroecosistemas del CBBC (A8) perdiera solamente 24 % de la producción de maíz, en comparación con el resto, quienes perdieron entre 50 y 95 % (Anexo 4). De acuerdo con Lybbert y Sumner (2012) este tipo de riego y, el uso de técnicas de conservación, recolección y almacenamiento de agua, son alternativas más adecuadas para los lugares donde existe un acceso limitado al riego permanente.

La siembra en más de una parcela la realizan cuatro de las familias campesinas, quienes han manejado dos parcelas con un doble propósito: descansar el terreno sin dejar de producir alimentos, mientras una parcela se descansa la otra se cultiva, y ampliar la posibilidad de obtener una buena cosecha aun cuando se presentan factores negativos como los eventos climáticos y la presencia de animales silvestres. Esta última condición es la que le otorga su potencial como estrategia de adaptación ante la variabilidad climática, debido a que permite a las familias campesinas aplicar manejos distintos¹⁴ y así evitar mayores efectos negativos en por lo menos una parcela. De acuerdo con Cohn *et al.* (2017), tanto esta como la siembra en dos microclimas, son estrategias de distribución de riesgos en el espacio que resultan más viables y adecuadas al contexto de los campesinos en comparación con otras opciones como los seguros contra el clima.

La siembra en dos microclimas solo la practican dos de las unidades familiares, quienes también cultivan la milpa en la zona alta o en la zona baja. La primera es más fría y húmeda en comparación con la zona media, mientras que la zona baja es más cálida; estas condiciones favorecen que la siembra se realice entre febrero y marzo en la zona alta, y durante el periodo de junio a julio en la zona baja. Mientras que el maíz blanco y pinto se pueden sembrar en las zonas media y baja, el maíz amarillo solo se siembra en la zona alta, porque está adaptado a sus condiciones climáticas. Por lo tanto, se consideró que la siembra en dos microclimas es una estrategia de adaptación, dado que permite a los campesinos aprovechar las características particulares de cada zona para minimizar los efectos de las variaciones del clima. El estudio de Skarbø y VanderMolen (2015) refuerza esta teoría, ellos encontraron que debido al incremento de la temperatura, los campesinos del condado de Cotacachi en Ecuador han expandido la siembra del maíz hacia zonas más altas,

¹⁴ Esto se refiere a que pueden establecer la siembra en periodos distintos

porque presentan condiciones más favorables en comparación con la zonas intermedia y baja. Algo similar ocurrió en comunidades de Tlaxcala que sufrieron repetidas pérdidas en la década de 1990, por lo que los campesinos abrieron tierras para la siembra de maíz en áreas que tienen menor riesgo de heladas (Eakin, 2005).

Participación familiar en el trabajo agrícola

En el Cuadro 5 se observa que existe una aparente contradicción entre los indicadores mano de obra familiar y participación familiar. En teoría, se esperaría que los agroecosistemas con mayor porcentaje de trabajo familiar fueran aquellos donde la participación de los integrantes de la familia es más alta. Esto no se cumple debido a que la participación familiar se evaluó en términos del porcentaje de integrantes que se involucran en alguna de las actividades del ciclo agrícola (esto incluye tanto trabajos en la parcela, como labores post-cosecha) y no con respecto al porcentaje de ellos que realizan el trabajo contabilizado en los jornales de un ciclo de cultivo.

A pesar de que más de 50 % de los integrantes de la familia llegan a realizar ciertas labores del ciclo agrícola, su participación no es constante y generalmente se reduce a la ayuda en las actividades de fertilización, cosecha y post-cosecha¹⁵. Por lo tanto, los jornales que se cubren con mano de obra familiar son realizados en su mayoría por una sola persona, el hombre jefe de familia.

Relevo generacional

La sustentabilidad de los sistemas de producción está relacionada con su capacidad de persistencia (Pretty, 2008). En la dimensión social, esta capacidad depende de la continuidad del cultivo de la parcela a través de las generaciones. De acuerdo con Montes (2016) la probabilidad de continuar con la producción de la milpa es mayor en las familias donde los hijos participan activamente en las labores agrícolas.

En 58 % de los agroecosistemas de estudio la condición del relevo generacional es incierta (Cuadro 10) debido a que los miembros de la familia menores de 30 años se encuentran estudiando o se espera que lo hagan, situación que limita su participación en las labores agrícolas e implica que en el futuro emigren de la comunidad. Este proceso, mediado por la globalización y las políticas agrícolas neoliberales, promueve que niños y jóvenes prefieran trabajar en las ciudades y pierdan

¹⁵ En algunos casos se documentó que tanto hombres como mujeres, aparte del jefe o jefa de familia, llegan a participar en todas las labores agrícolas.

interés en la agricultura (Escamilla-Prado *et al.*, 2018). Ante esta realidad, los campesinos de mayor edad sienten una gran preocupación y tristeza (Robson, 2009), porque ellos mismos han promovido tal desinterés al motivar a sus hijos a seguir estudiando e inculcar que el trabajo en el campo no es una buena opción.

Frente a este problema, algunos autores sugieren que son necesarias políticas públicas que incentiven a los jóvenes a permanecer en sus comunidades e involucrarse en la agricultura (Azaola, 2012). No obstante, Vizcarra *et al.* (2015) plantean que para asegurar el relevo generacional deberá promoverse: el acceso a los recursos productivos, el reconocimiento de los derechos de la mujer, innovaciones productivas que permitan generar ingresos y la reivindicación social, tanto de campesinos como de la sociedad en general, respecto a la importancia de la agricultura.

Cuadro 10. Porcentaje de agroecosistemas evaluados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018, según su condición de relevo generacional

Relevo generacional	Características de los menores de 30 años	Agroecosistemas (%)
Muy probable	Participan activamente en las actividades agrícolas y no estudian	17
Probable	Participan en alguna actividad agrícola y no estudian Participan en actividades agrícolas, y aunque estudian están interesados en continuar con la actividad agrícola	25
Incierto	Participan o no en actividades agrícolas, y estudian Por su corta edad aun no pueden demostrar interés por la agricultura No participan en ninguna actividad y son profesionistas	58

Dependencia de insumos químicos

Los fertilizantes inorgánicos son el único insumo químico que se utiliza en los agroecosistemas estudiados. Estos fueron el único componente del paquete tecnológico de la revolución verde que adoptaron los campesinos de la comunidad. Los agroecosistemas del CABC tienen una mayor dependencia en estos insumos; su compra representa 12 % de los costos de producción, mientras en el resto solo se invierte entre el 3 y 6 % del total. No obstante, en todos los casos el porcentaje es bajo en comparación con sistemas de producción de altos insumos como los del Bajío de

Guanajuato, donde la compra de fertilizantes representa entre 59 y 71 % de los costos de producción (Guzmán *et al.*, 2014).

Dependencia de apoyos gubernamentales

Los agroecosistemas son económicamente autogestivos respecto a los recursos monetarios que invierten en el ciclo agrícola. Estos provienen de los ingresos que obtienen padres e hijos mayores en actividades no agrícolas. Solo cinco de los 12 (A2, A3, A5, A8 y A9) cuentan con el programa gubernamental ProAgro. La cantidad recibida anualmente cubre entre 14 y 35 % de los costos totales de producción, a diferencia de otros lugares donde el programa beneficia a la mayoría de los campesinos y disminuye sus costos en más de 50 % (Domínguez-Hernández *et al.*, 2018).

6.4.3 Talleres participativos con campesinos

En esta sección se presentan algunos de los puntos mencionados y analizados por los campesinos que asistieron a los talleres. Aunque a estos no acudieron todos los representantes de las unidades familiares de estudio, la información obtenida se considera relevante dado que participaron campesinos que a nivel comunitario son reconocidos por su experiencia y constancia en la práctica agrícola.

Costos y beneficios del cultivo de milpa

Un tema en el cual los campesinos hicieron énfasis desde los primeros talleres fue el referente a los altos costos de producción que requiere el cultivo de milpa. Uno de los participantes expresó que “la agricultura no es rentable, porque el beneficio que se obtiene por no comprar el maíz producido no compensa la inversión”¹⁶; sin embargo, señaló que ellos siguen sembrando la milpa porque obtienen más alimentos. Otros participantes indicaron que siempre siembran maíz combinado con calabaza, frijol y otros cultivos, porque así “los costos se compensan” y porque les asegura obtener productos para su alimentación aun si el maíz se ve afectado. Estas bondades de la milpa son bien conocidas por todos las sociedades campesinas y han sido destacadas por diferentes autores (Boege, 2008; Buenrostro, 2009; Linares y Bye, 2011; Rogé y Astier, 2015).

Respecto al indicador relación beneficio-costo un campesino mencionó que, si se valoraran todos los beneficios obtenidos por los alimentos que proporciona la milpa, se podría constatar que “el campo si es rentable”¹⁷. No obstante, cuando se preguntó acerca de los rendimientos promedio que

¹⁶ Abacúc Michael Ruiz Ruiz, campesino de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

¹⁷ Rolando Ruiz Santiago, campesino de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

obtienen en su parcela de milpa, otro campesino mencionó que muchos no se fijan en cuánto cosechan, porque para los campesinos “la dicha de sembrar es poder comer en abundancia lo que ellos mismos cultivan”¹⁸. De acuerdo con Isakson (2009), este es un ejemplo de los beneficios no conmensurables de la milpa, los cuales tienen mayor importancia para los campesinos.

Actividades del ciclo de cultivo de la milpa

El calendario de cultivo de milpa descrito en la sección 6.2 se derivó a partir del ejercicio realizado en uno de los talleres. A continuación, se presentan algunos puntos interesantes que los campesinos mencionaron respecto a este tema y que no fueron incluidos en la descripción.

- No existen fechas exactas para la siembra debido a que el temporal de lluvias es muy variable.
- Debido a los altos costos de inversión y a que en ocasiones “les gana el tiempo”¹⁹, algunos campesinos ya no realizan las labores de “revolvida” y “arrima”. La “revolvida” es una actividad que se realiza con yunta y se aplica después de la “arada”.
- En parcelas donde la tierra es más “suelta” y no se forman “torromotes” o terrones, no es necesario hacer la labor de revolvida.
- Los campesinos que no realizan la “arrima”, en su lugar realizan el corte o chaponeo de las hierbas para evitar que compitan con el cultivo.

Prácticas para promover la adaptación a la variabilidad climática

En el cuarto y último taller, el cual se realizó a petición de los campesinos, los participantes identificaron otras prácticas que podrían promover la adaptación a la variabilidad climática.

La adecuada preparación del terreno (remover la tierra después de levantar la cosecha) y la siembra en surco (realizada con yunta) son prácticas que, de acuerdo con su experiencia, pueden ayudar a minimizar los efectos negativos de la sequía porque ayudan a conservar mayor humedad en el suelo (Cuadro 11). Estas prácticas de conservación tienen el potencial de ayudar a los campesinos a adaptarse a la variabilidad climática, mas es necesario superar las limitaciones que evitan su uso generalizado (Vignola *et al.*, 2015) y buscar alternativas para su socialización.

¹⁸ Rogelio Ruiz Santiago, campesino de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

¹⁹ Los campesinos utilizan esta expresión cuando por escasas de yuntas, mano de obra, o falta de humedad, no logran realizar las actividades en el tiempo requerido por la milpa.

En este mismo contexto, señalaron que el tipo de tierra es determinante para la retención y conservación del agua. Las tierras denominadas localmente “cerudas” (suelos con mayores contenidos de arcilla y limo) son mejores en comparación con las “arenosas” y “polvorosas”²⁰. En contraste, las tierras arenosas y polvorosas retienen menor cantidad de agua, aunque se humedecen más fácilmente. De acuerdo con Tataw *et al.* (2016) los suelos que tienen mayor contenido de arcilla y limo tienen un mayor potencial de adaptación a la variabilidad climática. En las parcelas de estudio, una tiene tierra arenosa, dos, tierra polvorosa, cinco, tierra ceruda y cuatro más tienen tierra “café cenizada” (Anexo 5). Este último tipo de tierra tiene características de las tierras cerudas y polvorosas.

Cuadro 11. Prácticas identificadas como estrategias de adaptación a la variabilidad climática en los talleres de campesinos realizados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Prácticas	Descripción	Ventajas	Limitantes
Adecuada preparación del terreno	Remoción del suelo con meses de anticipación a la siembra (de preferencia después de la cosecha).	Ayuda a conservar mayor humedad en el suelo.	Disponibilidad de yuntas. Requiere de cierto grado de humedad en el suelo.
Siembra en surco	Siembra en zanjas (surcos) trazados por el arado.	Ayuda a conservar mayor humedad en el suelo.	Disponibilidad de yuntas. Características del terreno (alta pendiente, presencia de árboles frutales).
Práctica de guelaguetza en las labores agrícolas	Relación de ayuda mutua entre campesinos para realizar las labores agrícolas.	Permite realizar las labores en los tiempos oportunos, sin generar costos monetarios.	Pocos campesinos realizan esta práctica.
Alternativas agronómicas para la siembra de frijol	Nuevos arreglos para la siembra de frijol: 1) Maíz solo como soporte para el frijol. 2) Establecimiento de estacas para el desarrollo del frijol.	Permite obtener producción de frijol y evita daños a los cultivos de milpa por acame	Requiere mayor trabajo

²⁰ En el cuadro 14 de la sección 6.5 se presentan los contenidos de arena, limo y arcilla de las parcelas de estudio y su clasificación campesina de tierra.

La guelaguetza en el trabajo agrícola fue identificada como estrategia de adaptación a la variabilidad climática. Esta es una práctica característica de los pueblos de Oaxaca, también denominada guetza, gueza o mano vuelta, y que a nivel de la actividad agrícola consiste en el intercambio recíproco y no remunerado de trabajo entre campesinos (Beals, 1970). Aunque la mayor ventaja de la guelaguetza es asegurar la mano de obra necesaria para las actividades de la parcela y aminorar los costos monetarios (Rogé *et al.*, 2016), los campesinos mencionaron que su potencial como estrategia de adaptación reside en facilitar y agilizar la realización de las labores agrícolas. Esta práctica de organización social, al igual que otras formas de ayuda mutua, puede ayudar a los campesinos a lidiar con las circunstancias generadas por los efectos de la variabilidad climática, tal como la necesidad de realizar los trabajos en tiempos no previstos (Altieri y Nicholls, 2013),

La implementación de alternativas agronómicas para la siembra de frijol es otra práctica mencionada para hacer frente a los efectos de la variabilidad climática, específicamente al acame de las plantas de maíz provocado por las lluvias extremas²¹. Si bien el eliminar el frijol de la milpa ha sido una decisión para responder de manera rápida a un factor limitante, la importancia alimentaria y ecológica de este cultivo está llevando a los campesinos a buscar alternativas que permitan mantener la agrobiodiversidad de la milpa y con ello la resiliencia del agroecosistema (Ebel *et al.*, 2018). En La Trinidad Ixtlán, algunos campesinos están probando arreglos en los que el frijol es el cultivo principal y el maíz funge solo como soporte de este cultivo.

Identidad, sentimientos y emociones de los campesinos

Con base en la observación participante, en los talleres se pudo percibir algunos elementos que los campesinos asocian al “ser campesino”, así como sentimientos y emociones que tienen respecto a la práctica agrícola.

- El cultivo de milpa es una forma de vida que heredaron de sus padres y abuelos.
- Un buen campesino es aquel que siembra con amor, le da cuidado a su cultivo y pone atención a su tierra.
- Para tener una buena cosecha no basta con realizar todas las labores. Estas se tienen que hacer a tiempo, con amor, cariño, fe y confianza.

²¹ Dado que las variedades de frijol de milpa crecen enredadas a las plantas de maíz, estas acumulan gran peso y favorecen el acame de la milpa con mayor facilidad.



Figura 10. Talleres participativos realizados con campesinos y campesinas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca y calendarios agrícolas del cultivo de milpa de algunos de los participantes.

- Los campesinos sienten alegría y satisfacción por trabajar en el campo, ver crecer sus cultivos, cosechar en abundancia y en el momento que deseen, y por brindar a su familia productos sanos.
- A pesar de los problemas que enfrentan, no dejarán de cultivar la milpa.
- Existe preocupación y tristeza en los campesinos debido a que las generaciones jóvenes no tienen interés por la práctica agrícola. Además, se sienten culpables porque ellos mismos propiciaron tal situación al inculcar ideas de superación a sus hijos.

6.4.4 Indicadores afectados por los eventos climáticos del ciclo 2018

Como la producción de maíz está relacionada con la autosuficiencia y con la relación beneficio-costos, la sequía presentada en el ciclo 2018 provocó una reducción similar en estos indicadores (Cuadro 12). Mientras que en un buen ciclo de producción el maíz obtenido permite cubrir los requerimientos familiares de este grano entre 12 y 32 meses²², la producción del ciclo 2018 solo logró cubrir entre 0.3 y 7.8 meses del abasto familiar. Efectos similares se han reportado en otras regiones de México. Por ejemplo, en comunidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, tanto la sequía y las lluvias extremas han afectado los rendimientos de cultivos como frijol, trigo y maíz, lo que provoca la pérdida de autosuficiencia y obliga a que las familias campesinas dependan de la compra de estos granos (Rogé y Astier, 2015). En un estudio de dos años consecutivos realizado en sistemas de maíz en el estado de Michoacán, Arnés *et al.* (2013), documentaron la disminución de más de 50 % en el rendimiento de maíz y el nivel de autosuficiencia familiar debido a la sequía que se presentó en el segundo año.

La relación beneficio-costos neta también disminuyó considerablemente y en todos los casos el coeficiente fue menor que 0.5, esto indica que el beneficio obtenido por la producción de maíz no fue suficiente para compensar al menos 50 % del monto invertido en el cultivo de la milpa. No obstante, durante los talleres los campesinos señalaron que la siembra de milpa les permite mantener la provisión de otros alimentos aun cuando el maíz, cultivo principal de la milpa y la dieta familiar, se ve afectado por la variación del clima, es decir, siempre obtienen al menos un cultivo, bien sea frijol, calabaza, haba, quelites, chícharo, frutas, etc. (Rogé y Astier, 2015).

²² El A2 es la excepción, dado que aun en años sin variabilidad climática, este obtiene bajos rendimientos debido a los daños que ocasionan los animales silvestres.

Aunque en el estudio no se pudo determinar en qué medida la producción de los otros cultivos incrementa la relación beneficio-costo, con base en lo observado en las parcelas y las pláticas informales que se tuvieron con los campesinos, se puede inferir que en años de mala cosecha estos no son suficientes para alcanzar el coeficiente óptimo (relación beneficio-costo = 1). A pesar de esto, los campesinos continúan la siembra de milpa porque esta es una estrategia de seguridad y soberanía alimentaria.

Cuadro 12. Rendimiento de maíz, autosuficiencia y relación beneficio-costo neta obtenidos en un buen ciclo de producción (sin afectaciones por eventos climáticos) y en el ciclo 2018, para los agroecosistemas evaluados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

	Rendimiento de maíz (kg ha ⁻¹)		Autosuficiencia de maíz (meses)		Relación beneficio-costo neta	
	Buen ciclo	Ciclo 2018 [†]	Buen ciclo	Ciclo 2018	Buen ciclo	Ciclo 2018
CABC	4426	268 (94)	15	0.8 (95)	2.33	0.15 (94)
CMBC	2877	776 (73)	12	3.3 (72)	1.77	0.49 (72)
CBBC	3141	1396 (56)	18	7.8 (56)	0.74	0.33 (55)
A2	503	127 (75)	1	0.3 (75)	0.53	0.15 (72)
A5	5327	1258 (76)	32	7.6 (76)	2.00	0.48 (76)

[†] Entre paréntesis se indica el porcentaje que disminuyó cada indicador con respecto a los valores de un buen ciclo. CABC: Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo; CMBC: Conglomerado de Media relación Beneficio Costo; CBBC: Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo; A2: Agroecosistema 2; A5: Agroecosistema 5.

Esta situación es preocupante, dado que la tendencia de variabilidad en la precipitación y temperatura de los últimos años infiere que los eventos como sequías y lluvias extremas se están presentando con mayor frecuencia que en el pasado. En la Figura 11 se observa que, para la zona de estudio, en el periodo de 2005 a 2018 cuatro de los 13 años registraron una disminución de cerca de 20 % en la precipitación total con respecto al promedio global.

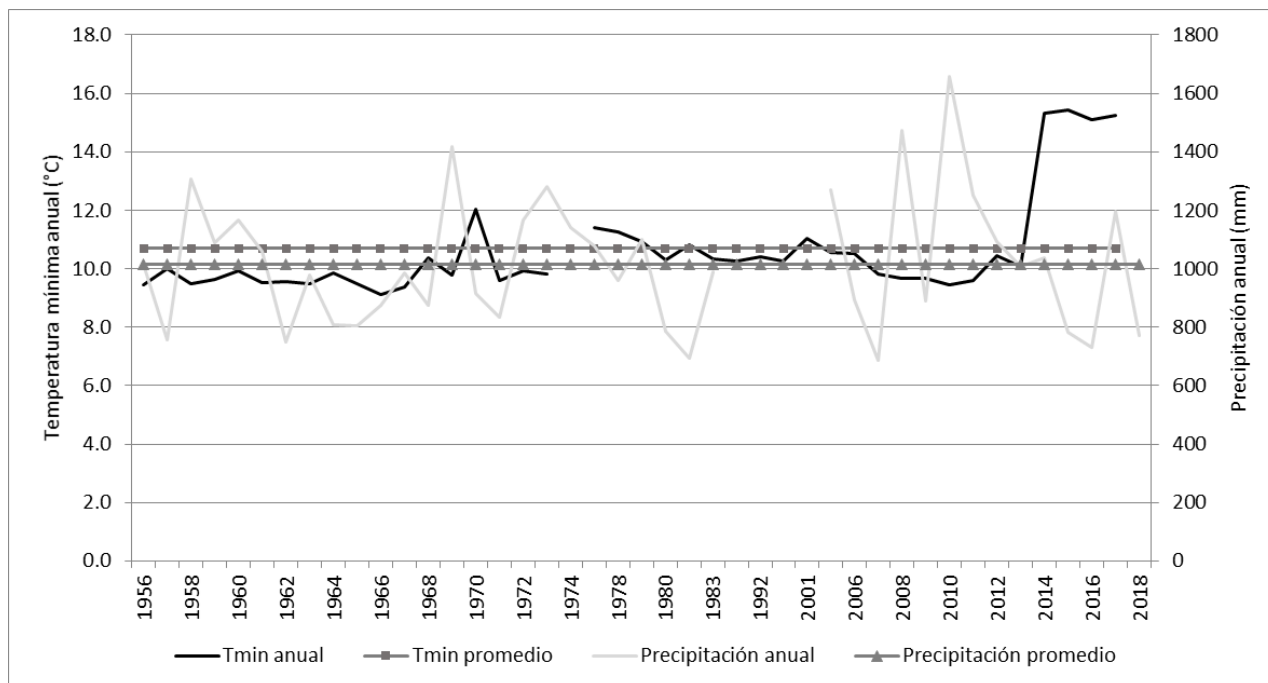


Figura 11. Variación de la temperatura mínima anual y de la precipitación anual total con respecto a los valores promedio del periodo 1956-2018 para la región de estudio.

6.4.5 Integración de los indicadores

En las Figuras 12 y 13 se presentan de manera conjunta los indicadores de sustentabilidad evaluados. En la primera se muestran los resultados según la clasificación de conglomerados, mientras que en la Figura 13 se observa el desempeño de cada uno de los 12 agroecosistemas evaluados. En ambos casos los indicadores se presentan en escala estandarizada.

Los agroecosistemas evaluados son sistemas mediados por una racionalidad campesina, que opera de manera distinta al modelo de agricultura convencional (Landini, 2011). El cultivo de milpa tiene por objetivo la producción de alimentos para el autoabasto familiar, se concibe como un modo de vida y no se basa en valoraciones monetarias (Isakson, 2009; Altieri *et al.*, 2012; Montes, 2016). En estos sistemas, la rentabilidad del cultivo, medida con la relación beneficio-costos, no se refiere a la obtención de ganancias por la venta de productos, sino al hecho de compensar los costos invertidos con el ahorro por no comprar los alimentos producidos. Además, los campesinos valoran otros beneficios no conmensurables de la milpa (Isakson, 2009), como el consumir alimentos de calidad, la satisfacción de cosechar directamente los cultivos, o el no depender del mercado externo para abastecerse de los granos básicos.

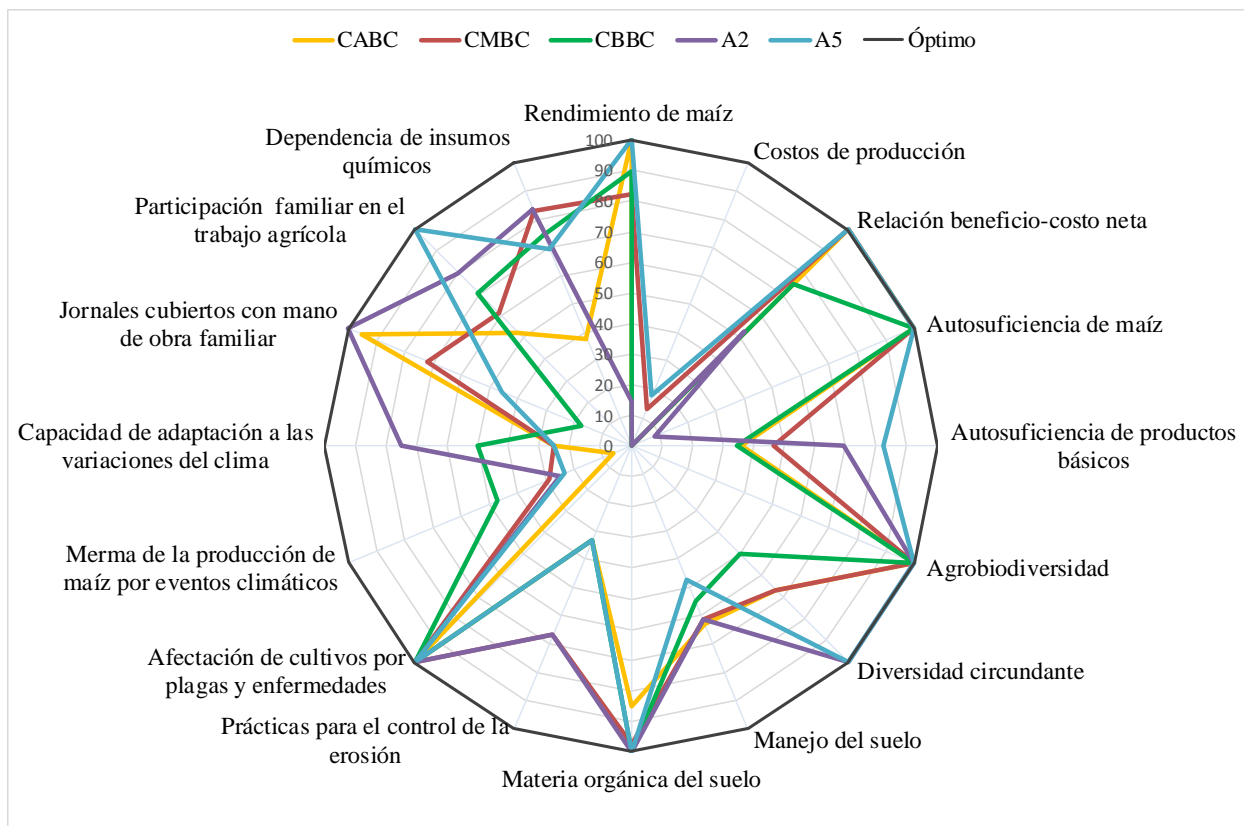


Figura 12. Diagrama de AMIBA de los indicadores de sustentabilidad evaluados en agroecosistemas de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018. CABC: Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo; CMBC: Conglomerado de Media relación Beneficio Costo; CBBC: Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo; A2: Agroecosistema 2; A5: Agroecosistema 5.

Tanto los conglomerados como los estudios de caso tuvieron tendencias similares y un buen desempeño en la mayoría de los indicadores. En general, se trata de agroecosistemas productivos, diversificados, con altos contenidos de materia orgánica y autodependientes. Sin embargo, tienen elevados costos de producción, son vulnerables a la variabilidad climática y su relevo generacional es incierto.

Los agroecosistemas del CABC obtienen altos rendimientos de maíz, pero tienen menor contenido de materia orgánica en el suelo y son más dependientes de fertilizantes. Su relación beneficio-costos neta es alta porque gran parte de los jornales se cubren con mano de obra familiar. Aunque los agroecosistemas del CMBC y del CBBC obtienen menores rendimientos de maíz, su producción es suficiente para abastecer el consumo familiar de un año. Al igual que el CABC, el

CMBC logra obtener una relación beneficio-costo neta óptima debido a la prevalencia del uso de mano de obra familiar. En contraste, el CBBC no alcanza este valor porque la mayor parte de los jornales que se utilizan en el ciclo agrícola son contratados.

Indicadores	CABC			CMBC			CBBC				A2	A5
	A1	A9	A12	A3	A4	A7	A6	A8	A10	A11		
Rendimiento de maíz	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Alto	Crítico	Alto
Costos de producción	Crítico	Crítico	Crítico	Bajo	Crítico	Alto	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico
Relación beneficio-costo neta	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto
Autosuficiencia de maíz	Alto	Alto	Alto	Alto	Crítico	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Crítico	Alto
Autosuficiencia de productos básicos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Agrobiodiversidad	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Diversidad circundante	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Manejo del suelo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Materia orgánica del suelo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Prácticas para el control de la erosión	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Crítico	Bajo	Bajo	Bajo	Crítico	Bajo	Bajo
Afectación de cultivos por plagas y enfermedades	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Merma de la producción de maíz por eventos climáticos	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Crítico	Crítico
Capacidad de adaptación a las variaciones del clima	Bajo	Crítico	Crítico	Bajo	Crítico	Crítico	Crítico	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Crítico
Jornales cubiertos con mano de obra familiar	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Crítico	Crítico	Alto	Bajo
Relevo generacional	Crítico	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico	Bajo
Participación familiar en el trabajo agrícola	Crítico	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Crítico	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Dedependencia de insumos químicos	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Dedependencia de apoyos gubernamentales	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo

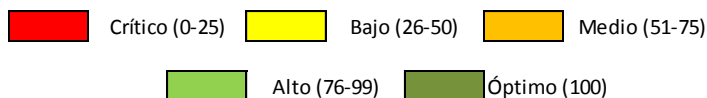


Figura 13. Matriz multicriterio del nivel de sustentabilidad de los indicadores evaluados en agroecosistemas de milpa de La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018. Los niveles se establecieron con base en la escala estandarizada de 0-100.

El A5 es el que obtuvo valores óptimos en un mayor número de indicadores, incluidos rendimiento y autosuficiencia de maíz, relación beneficio-costos neta y materia orgánica del suelo. Junto con el A2 son los agroecosistemas con mayor diversidad circundante y autosuficiencia de productos básicos. Esta última característica se debe a que la milpa se siembra intercalada con árboles frutales, diseño que es altamente pertinente para asegurar la autosuficiencia alimentaria de las familias rurales (Camas *et al.*, 2012; Turrent *et al.*, 2017).

El A2 es un caso particular dado que, a pesar de tener características similares al A5 obtuvo el valor más bajo en el indicador rendimiento de maíz y, por lo tanto, en la autosuficiencia de este grano y en la relación beneficio-costos neta. La campesina jefa de familia de este agroecosistema explicó que todos los años el rendimiento de maíz es bajo debido a los daños que ocasionan los animales silvestres y a que, desde su percepción, el terreno no es fértil. Sin embargo, en el análisis de suelos se encontró que es uno de los agroecosistemas con mayor contenido de materia orgánica. Ante esto, una posible explicación de la baja productividad de la parcela es la restricción de luz solar, dado que se observó que por su ubicación geográfica esta recibe menor cantidad de horas luz en comparación con el resto de las parcelas.

Todos los agroecosistemas tuvieron un desempeño óptimo en el indicador afectación de cultivos por plagas y enfermedades. Este resultado sugiere que la agrobiodiversidad existente en la milpa y la diversidad vegetal circundante en los agroecosistemas, brindan una estructura ecológica que permite la regulación natural de las poblaciones de plagas. Otros autores que han realizado estudios similares en sistemas diversificados, han reportado que el nivel de incidencia de insectos plaga es bajo (Abbona *et al.*, 2007) y menor que en sistemas de monocultivo (Arnés *et al.*, 2013; Domínguez-Hernández *et al.*, 2018).

Aunque en los indicadores manejo del suelo y prácticas para el control de la erosión los agroecosistemas no tuvieron un desempeño óptimo, los resultados obtenidos en el indicador materia orgánica del suelo revelan que las prácticas realizadas por las familias campesinas a lo largo del tiempo han permitido mantener una buena calidad del suelo.

Los altos costos de producción y la variabilidad climática son factores que afectan la sustentabilidad de todos los agroecosistemas. Actualmente, el primer caso no representa un problema real porque se trata de sistemas campesinos donde la utilización de mano de obra familiar

permite disminuir los costos monetarios y mantener una relación beneficio-costo óptima, o cercana a este valor. Sin embargo, si se requiriera contratar todos los jornales necesarios en el ciclo de cultivo, la rentabilidad de la producción se vería afectada en la mayoría de los agroecosistemas. Los resultados indican que esta situación no está lejos de ocurrir, dado que gran parte de los jornales que se cubren con mano de obra familiar corresponden al trabajo de personas adultas y a que el relevo generacional es incierto en la mayoría de los agroecosistemas (Figura 13). De acuerdo con Vizcarra *et al.* (2015) además de mantener altos costos de producción, la escasez de mano de obra dentro del hogar puede limitar la reproducción del cultivo de milpa.

Con excepción del CABC, los agroecosistemas tienen una baja dependencia de insumos químicos, mismos que son representados por fertilizantes inorgánicos. No obstante, la asesoría técnica con enfoque agroecológico podría ser de utilidad para que los agroecosistemas sean independientes de estos insumos.

El no depender en gran medida de apoyos públicos representa una ventaja para los agroecosistemas, porque aun cuando las reformas de política reduzcan los subsidios, su sustentabilidad no estará en riesgo (Latruffe *et al.*, 2016), sin embargo, para los campesinos estos apoyos son necesarios porque ayudan a reducir los costos de producción y a motivar el cultivo de la milpa entre los más jóvenes.

El desempeño de algunos de los indicadores evaluados parece refutar ciertos puntos críticos identificados al inicio de la investigación. Respecto al tema de plagas y enfermedades, la aparente contradicción se debe a que los campesinos son minuciosos al momento de identificar factores que causan daño en sus cultivos, más eso no significa que las afectaciones sean grandes. Los resultados de los indicadores rendimiento de maíz, autosuficiencia de maíz y relación beneficio-costos netos que se muestran en la Figura 12 contradicen a los puntos críticos decremento de los rendimientos, pérdida de la autosuficiencia y baja rentabilidad; sin embargo, estos problemas son evidentes cuando se presentan eventos climáticos como la sequía.

6.5 Propiedades fisicoquímicas y respiración microbiana del suelo de los agroecosistemas

Continuando con el análisis por conglomerados, en el Cuadro 13 se muestran los resultados de las propiedades químicas del suelo de cada uno de los agroecosistemas. En este se observa que el pH de los suelos se encuentra en el rango de 5.5 a 6.9, valores que son considerados como

moderadamente ácidos (5.5 – 6.4) y neutros (6.5 – 7.3) (Castellanos *et al.*, 2000). Por lo tanto, la mayoría de los agroecosistemas (83 %) tiene valores de pH óptimos (entre 6.0 y 6.9) que aseguran una buena disponibilidad de nutrientes.

Las parcelas del CABC tuvieron los valores más bajos de materia orgánica, aunque dentro de los estándares nacionales estos son considerados como niveles moderadamente altos (Castellanos *et al.*, 2000). Los agroecosistemas del CMBC y CBBC, así como el A2 obtuvieron valores entre 3.01 y 3.7 %, mismos que indican un alto contenido de materia orgánica. Por su parte, el A5 fue el que obtuvo el contenido más alto (5.9 %). De acuerdo con las variables de manejo evaluadas y con lo observado en los recorridos de campo, estos resultados se explican porque en todas las parcelas se realiza la incorporación de materia orgánica, principalmente a través de arvenses y rastrojos. En el caso A5 el mayor porcentaje se debe a la gran cantidad de biomasa que aportan los árboles frutales. El porcentaje de nitrógeno se correlacionó estrecha y positivamente con la materia orgánica (Rho= 0.78271, p-value= 0.0026).

La concentración de fósforo fue mayor en los agroecosistemas A9, A12 (ambos del CABC), A11 (del CBBC), A2 y A5. De acuerdo con su historial de manejo, para el caso de los agroecosistemas A9 y A12 esto puede ser debido a la aplicación de fertilizantes fosfatados (Fosfato diamónico) DAP[®], mientras que en los agroecosistemas A11, A2 y A5 las altas concentraciones se atribuyen a la aplicación de estiércol de animales, dado que en estos solo se aplican fertilizantes nitrogenados.

La capacidad de intercambio catiónico CIC, se relacionó estrecha y positivamente con el porcentaje de arcilla ($r= 0.5919$, p-value= 0.0426), mientras que la relación fue contraria con respecto al porcentaje de arena ($r= -0.69112$, p-value= 0.0128). Solo los agroecosistemas A11 y A5 tuvieron un nivel bajo de CIC, dado que sus porcentajes de arena fueron de los más altos (Cuadro 13). El resto obtuvo valores catalogados como niveles medios y altos (SEMARNAT, 2002). La mayoría de los agroecosistemas (a excepción del A9) tuvieron valores medios y altos de Ca, K y Mg intercambiables (SEMARNAT, 2002), lo cual indica que, bien sea por su nivel de materia orgánica o por su textura, estos tienen concentraciones adecuadas para abastecer la demanda de los cultivos. Por su parte, los valores de Na intercambiable y de la conductividad eléctrica (CE), indican que ninguno de los agroecosistemas presenta restricciones de salinidad.

Cuadro 13. Características químicas del suelo de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Agroecosistemas	pH	MO	CO	N	Pbray	K	CIC	Cai	Ki	Mgi	Nai	CE
		%			ppm			cmol kg ⁻¹				dS m ⁻¹
		CABC										
A1	5.6	2.90	1.45	0.13	10.5	1.6	27.3	11.5	0.8	66.8	0.3	0.17
A9	6.0	3.06	1.53	0.17	20.3	2.3	25.7	3.8	0.3	13.1	0.1	0.26
A12	6.1	2.95	1.48	0.14	37.7	2.0	23.6	21.4	0.5	54.5	0.2	0.33
		CMBC										
A3	5.5	3.68	1.84	0.19	3.8	1.6	21.6	5.0	0.3	15.4	0.2	0.2
A4	6.3	3.01	1.50	0.09	3.6	2.3	18.5	9.8	0.4	24.6	0.2	0.5
A7	6.1	3.53	1.76	0.25	12.5	3.9	18.2	8.8	0.5	22.2	0.1	0.2
		CBBC										
A6	6.1	4.42	2.21	0.18	1.9	1.1	26.6	19.6	0.5	23.0	0.2	0.3
A8	6.7	3.42	1.71	0.17	3.8	1.6	20.5	10.1	0.3	11.0	0.1	0.3
A10	6.5	3.53	1.76	0.19	2.1	1.6	24.1	17.5	0.5	23.7	0.2	0.3
A11	6.9	3.11	1.55	0.15	42.6	3.9	11.9	10.1	0.4	14.6	0.2	0.4
A2	6.7	3.7	1.9	0.17	63.1	2.7	18.7	6.1	0.5	19.0	0.2	0.3
A5	6.6	5.9	3.0	0.24	66.3	4.7	12.9	17.4	0.8	19.2	0.2	0.5

MO: materia orgánica; CO: carbono orgánico; N: nitrógeno total; Pbray: fósforo extraído por el método de Bray y Kurtz; K: potasio soluble; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Cai, Ki, Mgi, Nai: calcio, potasio, magnesio y sodio intercambiable, respectivamente; CE: conductividad eléctrica. CABC: Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo; CMBC: Conglomerado de Media relación Beneficio Costo; CBBC: Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo; A2: Agroecosistema 2; A5: Agroecosistema 5.

De acuerdo con los porcentajes de las partículas minerales, se encontró que la textura predominante en los agroecosistemas fue franco arcillosa (Cuadro 14), la cual es considerada como la más adecuada para propósitos agrícolas (Gliessman, 2002). Solo en dos agroecosistemas se encontraron texturas arcillosas, mismas que no son tan apropiadas para la agricultura debido a su mala aireación, baja permeabilidad y dificultad para laborar (Navarro y Navarro, 2013).

Cuadro 14. Porcentaje de las partículas minerales y textura del suelo de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Conglomerados	Agroecosistemas	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Tipo de tierra
		%				
CABC	A1	18.79	39.95	41.27	Arcilla	Ceruda
	A9	20.20	50.36	29.44	Franco arcilloso	Polvorosa
	A12	22.60	41.06	36.34	Franco arcilloso	Ceruda
CMBC	A3	21.25	46.99	31.77	Franco arcilloso	Café cenizada
	A4	22.01	45.92	32.07	Franco arcilloso	Polvorosa
	A7	17.68	40.49	41.83	Arcillo limoso	Ceruda
CBBC	A6	24.51	38.51	36.98	Franco arcilloso	Ceruda
	A8	30.16	34.63	35.21	Franco arcilloso	Café cenizada
	A10	22.99	39.83	37.19	Franco arcilloso	Ceruda
	A11	43.40	33.55	23.04	Franco	Arenosa
	A2	38.84	29.23	31.93	Franco arcilloso	Café cenizada
	A5	37.15	32.82	30.04	Franco arcilloso	Café cenizada

CABC: Conglomerado de Alta relación Beneficio Costo; CMBC: Conglomerado de Media relación Beneficio Costo; CBBC: Conglomerado de Baja relación Beneficio Costo.

Las figuras 14, 15, 16 y 17 muestran las cinéticas de respiración microbiana de los suelos analizados, según la agrupación de conglomerados y estudios de caso. En estas se observa que los agroecosistemas A12, A4 y A5 tuvieron una mayor respiración acumulada (superior a los 200 $\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$) y con tendencia creciente después de los 31 días. Por su parte, en el resto de los agroecosistemas se observó una tendencia de estabilización a partir del día 27. Con base en el historial de manejo, se cree que estas tendencias pueden ser debidas a la forma de preparación del terreno, dado que en los tres primeros agroecosistemas se utiliza solamente herramientas manuales para la preparación del terreno y en el resto (a excepción del A1 y A2) se utiliza arado.

Por su parte, los niveles más altos de respiración microbiana se pueden explicar por dos razones principales: por la presencia del cultivo de maíz y abundantes arvenses en estado maduro al momento del muestreo (A9 y A12) y por la presencia de árboles frutales (A4 y A5).

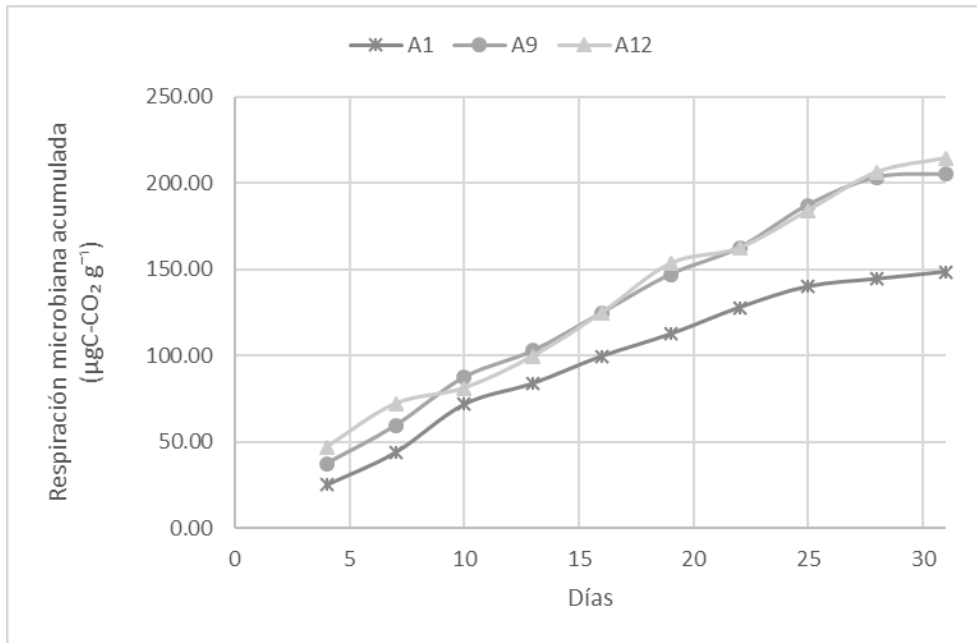


Figura 14. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas del Conglomerado Alto Beneficio Costo (CABC)

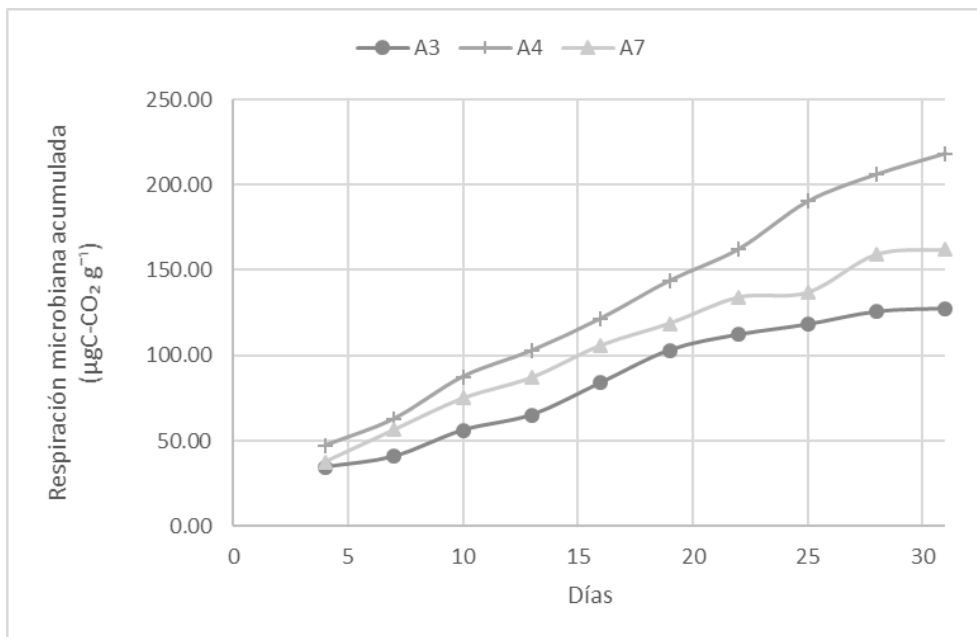


Figura 15. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas del Conglomerado Medio Beneficio Costo (CMBC)

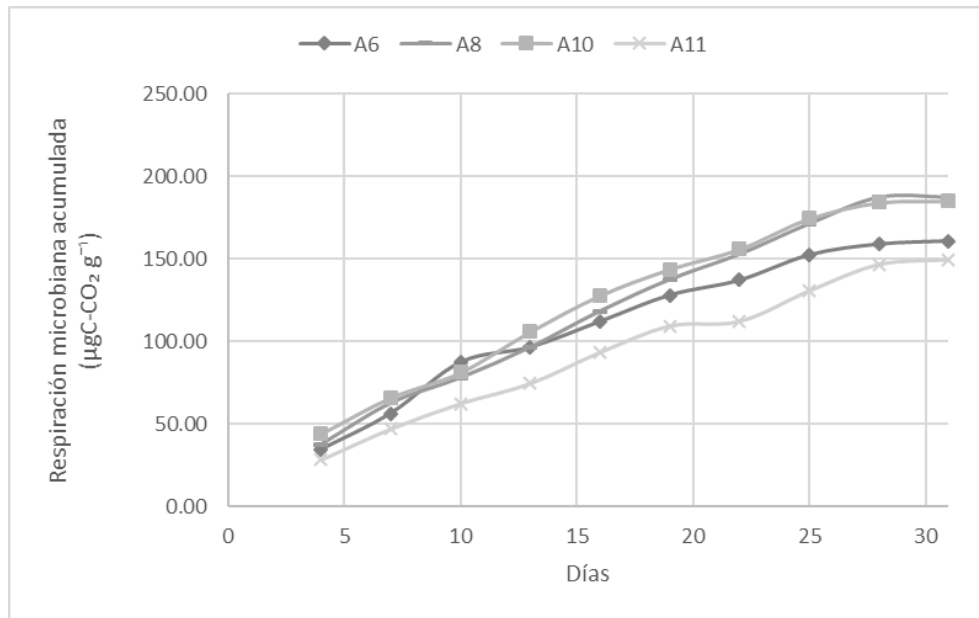


Figura 16. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas del Conglomerado Bajo Beneficio Costo (CBBC)

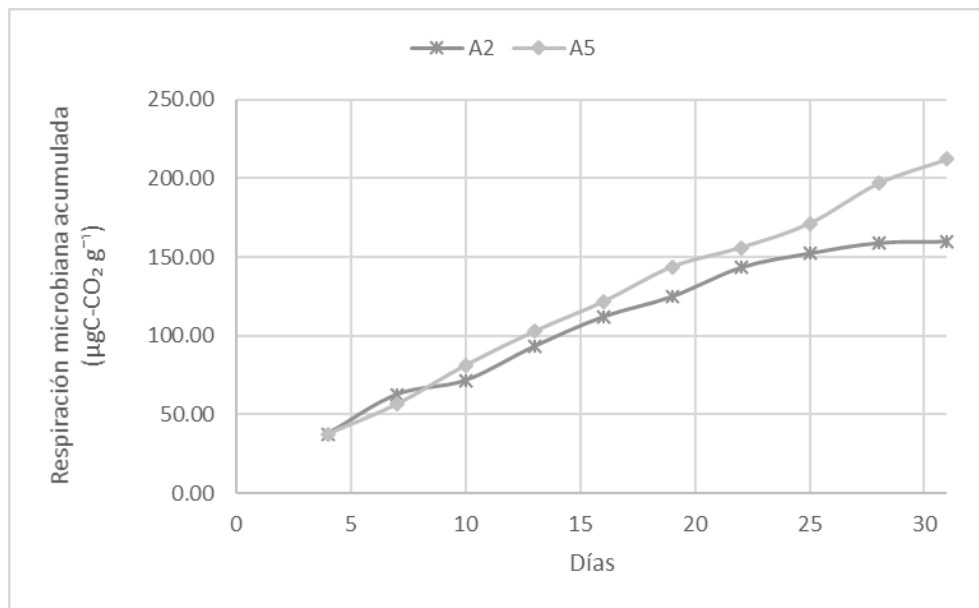


Figura 17. Cinética de respiración microbiana para los agroecosistemas A2 y A5

7 CONCLUSIONES

Los agroecosistemas de milpa evaluados son sistemas guiados por la racionalidad campesina de producción para el autoconsumo y el uso de mano de obra familiar. Los campesinos no valoran a la milpa en términos monetarios, sino por los alimentos que obtienen de este policultivo y por otros beneficios no conmensurables que les otorga.

En general, se trata de sistemas productivos y diversificados que obtienen altos rendimientos de maíz, en comparación con la media estatal, son autosuficientes en este grano y cuentan con otros alimentos básicos para la alimentación familiar.

Los elementos que le dotan de mayor sustentabilidad son la biodiversidad agrícola y circundante, el manejo del suelo y su contenido de materia orgánica y, la baja dependencia de insumos químicos y apoyos gubernamentales.

Aunque la diversificación de cultivos y las prácticas para la conservación del suelo mantienen la conservación de los recursos naturales y contribuyen a la sustentabilidad ambiental de los agroecosistemas, existen otros elementos que influyen en su sustentabilidad económica y social.

Los altos costos de producción son un punto crítico de los agroecosistemas de milpa, sin embargo, el uso de mano de obra familiar disminuye la inversión real monetaria y promueve la rentabilidad del cultivo.

La variabilidad climática es el principal factor que pone en riesgo la sustentabilidad de todos los agroecosistemas de milpa, dado que propicia la disminución del rendimiento de maíz, principal cultivo de la asociación.

La incertidumbre del relevo generacional se vislumbra como un problema a futuro para la sustentabilidad de los agroecosistemas, debido a que limita la disponibilidad de mano de obra familiar.

Todas las parcelas evaluadas mantienen altos contenidos de materia orgánica debido a que su manejo promueve la incorporación de la biomasa vegetal de arvenses y rastrojos. Los altos contenidos de fósforo que obtuvieron algunas parcelas se deben a la aplicación de fertilizantes fosfatados y de estiércoles animales.

8 RECOMENDACIONES

Referente a los agroecosistemas de milpa

- Promover la sustitución paulatina del uso de fertilizantes con la aplicación de abonos orgánicos elaborados con insumos locales.
- Socializar las estrategias de adaptación a la variabilidad climática y buscar formas que promuevan su adopción generalizada.
- Promover la siembra de milpa en las zonas agrícolas alta y baja.
- Fomentar la práctica de guelaguetza en las labores agrícolas.
- Promover espacios para el intercambio de experiencias entre campesinos y campesinas de la comunidad.
- Implementar a nivel comunitario un programa de revaloración del cultivo de milpa dirigido a las generaciones jóvenes.

Referente a futuras investigaciones

- Monitorear los indicadores de sustentabilidad por un periodo de tiempo más largo.
- Evaluar las ventajas ecológicas y económicas de la agrobiodiversidad del sistema milpa.
- Evaluar los efectos de la variabilidad climática en los agroecosistemas de milpa.
- Realizar investigaciones multidisciplinarias y de largo plazo con las que se pueda dar un acompañamiento a las familias y comunidades campesinas en procesos de innovación y fortalecimiento de capacidades adaptativas, y que puedan conformar propuestas de política pública para el apoyo de la actividad agrícola de las comunidades campesinas.

9 LITERATURA CITADA

- Abbona, E. A., Sarandón, S. J., Marasas, M. E. y Astier, M. 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119: 335-345.
- Aguilar-Jiménez, C. E., Tolón-Becerra, A. y Lastra-Bravo, X. 2011. Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 43: 155-174.
- Aguilar, J., Illsley, C. y Marielle, C. 2003. Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. En: Esteva, G. y Marielle, C. (eds.) *Sin maíz no hay país*. México: CONACULTA. 155-176.
- Altieri, M. A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1971: 1-24.
- Altieri, M. A. 2012. Insect pest management in the agroecosystems of the future. *Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*, 60: 137-144.
- Altieri, M. A., Funes-Monzote, F. R. y Petersen, P. 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 1-13.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7: 65-83.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2013. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140: 33-45.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A. y Lana, M. A. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 869-890.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I. y Montalba, R. 2017. Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. *Sustainability*, 9.
- 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: 587-612.
- Anderson, J. P. 1982. Soil respiration En: Page, A. L., Miller, R. H. y Keeney, D. R. (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2a ed. Madison, Wisconsin Soil Science Society of America. 831-871.
- Arnés, E., Antonio, J., del Val, E. y Astier, M. 2013. Sustainability and climate variability in low-input peasant maize systems in the central Mexican highlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 181: 195-205.
- Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquível, C. E. y Maserá, O. R. 2012. Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). *Ecology and Society*, 17.
- Astier, M., Pérez-Agis, E., Ortíz, T. y Mota, F. 2005. Sustentabilidad de Sistemas Campesinos de Maíz Después de Cuatro años: El Segundo Ciclo de Evaluación MESMIS. En: Astier, M. y Hollands, J. (eds.) *Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*. México: GIRA, Mundi-Prensa. 85-120.
- Azaola, M. C. 2012. Becoming a migrant: aspirations of youths during their transition to adulthood in rural Mexico. *Journal of Youth Studies*, 15: 875-889.

- Balmer, O., Pfiffner, L., Schied, J., Willareth, M., Leimgruber, A., Luka, H. y Traugott, M. 2013. Noncrop flowering plants restore top-down herbivore control in agricultural fields. *Ecology and Evolution*, 3: 2634-2646.
- Bartra, A. 2009. Hacer milpa. *Ciencias*: 42-45.
- Beals, R. L. 1970. Gifting, reciprocity, saving and credit in peasant Oaxaca. *Southwestern Journal of Anthropology*, 26: 231-241.
- Benítez, M., Fornoni, J., García-Barrios, L. y López, R. 2014. Dynamical networks in agroecology: the milpa as a model system. En: Benítez, M., Miramontes, O. y Valiente-Banuet, A. (eds.) *Frontiers in Ecology, Evolution and Complexity*. México: CopIt-arXives. 1-14.
- Bianchi, F. J., Booij, C. J. y Tschardtke, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B*, 273: 1715-27.
- Blanco-Canqui, H. y Francis, C. A. 2016. Building resilient soils through agroecosystem redesign under fluctuating climatic regimes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71: 127A-133A.
- Boege, E. 2008. *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas*. México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. 344.
- Brunett, L., González, C. y García, L. A. 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development*, 17.
- Brush, S. B., Tadesse, D. y Van Dusen, E. 2003. Crop Diversity in Peasant and Industrialized Agriculture: México and California. *Society & Natural Resources*, 16: 123-141.
- Buenrostro, M. 2009. Las bondades de la milpa. *Ciencias*: 30-32.
- Camas, R., Turrent, A., Cortés, J. I., Livera, M., González, A., Villar, B., López, J., Espinoza, N. y Cadena, P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 231-243.
- Caporali, F. 2015. History and Development of Agroecology and Theory of Agroecosystems. En: Monteduro, M., Buongiorno, P., Di Benedetto, S. y Isoni, A. (eds.) *Law and Agroecology*. 3-29.
- Carrera-García, S., Navarro-Garza, H., Pérez-Olvera, M. A. y Mata-García, B. 2012. Calendario agrícola mazateco, milpa y estrategia alimentaria campesina en territorio de Huautepec, Oaxaca. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 9: 455-475.
- Castelán, R., Tamaríz, V., Ruiz, J. y Linares, G. 2014. Evaluación de la sustentabilidad de la actividad agrícola de tres localidades campesinas en Pahuatlán, Puebla. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1: 219-231.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. San Miguel Allende, Gto. 226.
- Chiappe, M. 2002. Dimensiones sociales de la agricultura sustentable. En: Sarandón, S. J. (ed.) *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. La Plata: Ediciones Científicas Americanas. 83-98.
- CIDSE 2018. *Los principios de la agroecología. Hacia sistemas alimentarios justos, resilientes y sostenibles* Bruselas, Bélgica, CIDSE. 11.
- CIMMYT 2012. *Manual de determinación de rendimiento*. México, D.F. 36.

- CMMAD 1987. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "Nuestro Futuro Común".
- Cohn, A. S., Newton, P., Gil, J. D. B., Kuhl, L., Samberg, L., Ricciardi, V., Manly, J. R. y Northrop, S. 2017. Smallholder Agriculture and Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 42: 347-375.
- Collin, L. 2017. La milpa campesina mesoamericana: Más que una forma de producción, una manera de vivir, pensar y sentir. *Revista de Antropología*, 2: 104-128.
- CONAGUA-SMN. 2019. *Base de datos climatológica. Estación 20041: Ixtlán de Juárez* [En línea]. Disponible en: <https://smn.cna.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/20041.txt> [Último acceso: 20/06/2019].
- Conde, C. y Ferrer, R. 2006. Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural in Mexico. *Atmósfera*, 19: 181-194.
- Conway, G. R. 1985. Agroecosystem analysis. *Agriculture Administration* 20: 31-55.
- Cotler, H., Martínez, M. y Etchevers, J. D. 2016. Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: investigación y políticas públicas. *Terra Latinoamericana*, 34: 125-138.
- de la Peña, E. 2009. Efectos de la biota edáfica en las interacciones planta-insecto a nivel foliar. *Ecosistemas*, 18: 64-78.
- De la Tejera, B. y García, R. 2008. Agricultura y estrategias de formación de ingreso campesinas en comunidades indígenas forestales oaxaqueñas. En: García, R., De la Tejera, B. y Appendini, K. (eds.) *Instituciones y desarrollo. Ensayos sobre la complejidad del campo mexicano*. Cuernavaca: UNAM; CRIM; El Colegio de México; Universidad Autónoma Chapingo. 65-104.
- Domínguez-Hernández, M. E., Zepeda-Bautista, R., Valderrama-Bravo, M. d. C., Domínguez-Hernández, E. y Hernández-Aguilar, C. 2018. Sustainability assessment of traditional maize (*Zea mays* L.) agroecosystem in Sierra Norte of Puebla, Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42: 383-406.
- Donatti, C. I., Harvey, C. A., Martinez-Rodriguez, M. R., Vignola, R. y Rodriguez, C. M. 2018. Vulnerability of smallholder farmers to climate change in Central America and Mexico: current knowledge and research gaps. *Climate and Development*, 11: 264-286.
- Doran, J. W. y Zeiss, M. R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3-11.
- Dumont, A. M., Vanloqueren, G., Stassart, P. M. y Baret, P. V. 2016. Clarifying the socioeconomic dimensions of agroecology: between principles and practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40: 24-47.
- Eakin, H. 2005. Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development*, 33: 1923-1938.
- Eakin, H., Perales, H., Appendini, K. y Sweeney, S. 2014. Selling Maize in Mexico: The Persistence of Peasant Farming in an Era of Global Markets. *Development and Change*, 45: 133-155.
- Ebel, R., Méndez, M. d. J. y Putnam, H. R. 2018. Milpa: One Sister Got Climate-sick. The Impact of Climate Change on Traditional Maya Farming Systems. *International Journal of Sociology of Agriculture and Food*, 24: 175-199.
- Ebel, R., Pozas, J. G., Soria, F. y Cruz, J. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35: 149-160.

- Escamilla-Prado, E., Díaz-Cárdenas, S., Nava-Tablada, M. E. y Cantú-Peña, F. 2018. El relevo generacional en el sector cafetalero: la experiencia de los cursos de café para niños en Chocamán, Veracruz, México. *Agro Productividad*, 11: 48-54.
- Fageria, N. K. 2012. Role of Soil Organic Matter in Maintaining Sustainability of Cropping Systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43: 2063-2113.
- FAO. 2018. *Los 10 elementos de la agroecología. Guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles* [En línea]. FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1147773/> [Último acceso: 24/07/2019].
- Feller, C., Manlay, R. J., Swift, M. J. y Bernoux, M. 2006. Functions, services and value of soil organic matter for human societies and the environment: a historical perspective. *Geological Society* 266: 9-22.
- Fox, J. y Bouchet-Valat, M. 2019. Rcmdr: R commander. R package version 2.5-3.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. y Poincelot, R. 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22: 99-118.
- Galván-Miyoshi, Y. 2008. Integración de indicadores en la evaluación de la sustentabilidad: de los índices agregados a la representación multicriterio. En: Astier, M., Masera, O. R. y Galván-Miyoshi, Y. (eds.) *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. España: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, Mundiprensa, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. 95-117.
- Galván-Miyoshi, Y., Masera, O. y López-Ridaura, S. 2008. Las evaluaciones de sustentabilidad. En: Astier, M., Masera, O. y Galván-Miyoshi, Y. (eds.) *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. España: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, Mundiprensa, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. 41-57.
- García-Martínez, Y. G., Ballesteros, C., Bernal, H., Villarreal, O., Jiménez-García, L. y Jiménez-García, D. 2016. Traditional agroecosystems and global change implications in Mexico. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 22: 548-565.
- Gasca, J. 2014. Gobernanza y gestión comunitaria de recursos en la Sierra Norte de Oaxaca. *Región y Sociedad*: 89-120.
- Gil, J. y Vivar, J. 2015. La modernización agrícola en México y sus repercusiones en espacios rurales. *Revista Antropologías del Sur*: 51-67.
- Gliessman, S. 2018. Defining Agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42: 599-600.
- Gliessman, S. R. 2002. *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica, Turrialba, C.R., CATIE. 359.
- Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Mendez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C. y Jaffe, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16: 13-23.
- Gómez, L. M., Márquez, S. M. y Restrepo, L. F. 2018. La milpa como alternativa de conversión agroecológica de sistemas agrícolas convencionales de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en el municipio El Carmen de Viboral, Colombia. *IDESIA*, 36: 123-131.
- González, C. E., Ríos, H., Brunett, L., Zamorano, S. y Villa, C. 2006. ¿Es posible evaluar la dimensión social de la sustentabilidad? Aplicación de una metodología en dos comunidades campesinas del valle de Toluca, México. *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales*, 13: 107-139.

- Goswami, R., Saha, S. y Dasgupta, P. 2017. Sustainability assessment of smallholder farms in developing countries. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41: 546-569.
- Guevara, F., Carranza, T., Puentes, R. y González, C. 2000. La sustentabilidad de sistemas maíz-mucuna en el sureste de México. Primer ciclo de evaluación. En: Masera, O. y López-Ridaura, S. (eds.) *Sustentabilidad y sistemas campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México rural* México: Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable, Mundi-Prensa, Universidad Nacional Autónoma de México. 207-269.
- Guzmán, E., de la Garza, M. T., González, J. P. y Hernández, J. 2014. Análisis de los costos de producción de maíz en la Región Bajío de Guanajuato. *Análisis Económico*, 29: 145-156.
- Guzmán, G. y Morales, J. 2012. Agroecología y agricultura ecológica. Aportes y sinergias para incrementar la sustentabilidad agraria. *Agroecología*, 6: 55-62.
- Guzmán, G. I. y Alonso, A. M. 2007. La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*, 16: 24-36.
- Harvey, C. A., Saborio-Rodríguez, M., Martínez-Rodríguez, M. R., Viguera, B., Chain-Guadarrama, A., Vignola, R. y Alpizar, F. 2018. Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture & Food Security*, 7.
- Hatt, S., Boeraeve, F., Artru, S., Dufrene, M. y Francis, F. 2018. Spatial diversification of agroecosystems to enhance biological control and other regulating services: An agroecological perspective. *Science of the Total Environment*, 621: 600-611.
- Hernández, E. 1981. *Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola*. Colegio de Postgraduados.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. d. P. 2014. *Metodología de la investigación*. México, McGraw-Hill. 600.
- Holt-Giménez, E. y Altieri, M. A. 2013. Agroecology, Food Sovereignty, and the New Green Revolution. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37: 90-102.
- INEGI. 2002. *Conjunto de datos vectoriales, unidades climáticas 1: 1 000 000*.
- INEGI. 2008. *Conjunto de datos vectoriales, perfiles de suelos 1: 1 000 000*.
- INEGI. 2014. *Conjunto de datos vectoriales geológicos 1: 1 000 000*.
- IRI. 2018. *GAUGE_BASED GLOBAL v1p0 extREALTIME Precipitation from NOAA NCEP CPC UNIFIED_PRCP: CPC Unified Precipitation Analyses* [En línea]. International Research Institute for Climate and Society. Earth Institute. Columbia University. Disponible en: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.UNIFIED_PRCP/.GAUGE_BASED/.GLOBAL/.v1p0/.extREALTIME/.rain/ [Último acceso: 23/07/2019].
- IRI. 2019. *Minimum temperature at 2 m from NASA GSFC MERRA2 Anl_MonoLev: 2D Variables* [En línea]. International Research Institute for Climate and Society. Earth Institute. Columbia University. Disponible en: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GSFC/.MERRA2/.Anl_MonoLev/.t2min/ [Último acceso: 23/07/2019].
- Isakson, S. R. 2009. No hay ganancia en la milpa: the agrarian question, food sovereignty, and the on-farm conservation of agrobiodiversity in the Guatemalan highlands. *The Journal of Peasant Studies*, 36: 725-759.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F. y Schuman, G. E. 1997. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61: 4-10.

- Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. 2009. *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116.
- Koohafkan, P. y Altieri, M. A. 2011. *Globally important agricultural heritage systems. A legacy for the future*. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Koohafkan, P., Altieri, M. A. y Holt, E. 2012. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10: 61-75.
- Kuhlman, T. y Farrington, J. 2010. What is Sustainability? *Sustainability*, 2: 3436-3448.
- Landini, F. 2011. Racionalidad económica campesina. *Mundo Agrario*, 12.
- Latruffe, L., Diazabakana, A., Bockstaller, C., Desjeux, Y., Finn, J., Kelly, E., Ryan, M. y Uthes, S. 2016. Measurement of sustainability in agriculture: a review of indicators. *Studies in Agricultural Economics*, 118: 123-130.
- Lebacqz, T., Baret, P. V. y Stilmant, D. 2013. Sustainability indicators for livestock farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33: 311-327.
- Lin, B. B. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience*, 61: 183-193.
- Linares, E. y Bye, R. 2011. ¡La milpa no solo es maíz! En: Álvarez-Buylla, E., Carreón, A. y San Vicente, A. (eds.) *Haciendo milpa. La protección de las semillas y la agricultura campesina*. México: UNAM. 9-12.
- López-Ridaura, S., Maser, O. y Astier, M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental system. The MESMIS framework. *Ecological Indicators* 35: 1-14.
- Lybbert, T. J. y Sumner, D. A. 2012. Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion. *Food Policy*, 37: 114-123.
- Magdaleno-Hernández, E., Jiménez-Velazquez, M. A., Martínez-Saldaña, T. y Cruz-Galindo, B. 2014. Estrategias de las familias campesinas en Pueblo Nuevo, municipio de Acambay, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 11: 167-179.
- Magdoff, F. 1999. Calidad y manejo del suelo. En: Altieri, M. A. (ed.) *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Nordan-Comunidad. 291-304.
- Martínez, D. Y. 2016. *Transformaciones y estado actual del sistema agrícola tradicional en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca*. Tesis de Licenciatura, Universidad de la Sierra Juárez.
- Maser, O. y Astier, M. 1993. Energía y Sistema Alimentario en México: Aportaciones de la Agricultura Alternativa. En: Trujillo, J. y Torres-Lima, P. (eds.) *Agroecología y Desarrollo Agrícola en México*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Maser, O., Astier, M. y López-Ridaura, S. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS*. México, GIRA A.C. 139.
- Maser, O., Astier, M., López-Ridaura, S., Galván-Miyoshi, Y., Ortíz-Ávila, T., García-Barrios, L. E., García-Barrios, R., González, C. y Speelman, E. 2008. El proyecto de evaluación de sustentabilidad MESMIS. En: Astier, M., Maser, O. y Galván-Miyoshi, Y. (eds.) *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional*. España: SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM, GIRA, Mundiprensa, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. 13-23.
- Méndez, V. E., Bacon, C. M. y Cohen, R. 2013. Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37: 3-18.

- Merlín-Urbe, Y., González-Esquivel, C. E., Contreras-Hernández, A., Zambrano, L., Moreno-Casasola, P. y Astier, M. 2013. Environmental and socio-economic sustainability of chinampas (raised beds) in Xochimilco, Mexico City. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11: 216-233.
- Molina-Anzures, M. F., Chávez-Servia, J. L., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Hernández-Romero, E. y Ortíz-Torres, E. 2016. Eficiencias productivas de asociaciones de maíz, frijol y calabaza (*Curcubita pepo* L.) intercaladas con arboles frutales. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 85: 36-50.
- Montes, E. R. 2016. *La milpa amatleca como estrategia de vida*. México, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 208.
- Navarro, G. y Navarro, S. 2013. *Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Madrid, España, Mundi-Prensa. 508.
- Nicholls, C. I. y Altieri, M. A. 2012. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33: 257-274.
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A. y Vázquez, L. L. 2015. Agroecología: principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. *Agroecología*, 10: 61-72.
- 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*: 173-191.
- Ortíz., C. A., Pájaro, H. D. y Ordaz, V. M. 1990. *Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas*. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 62.
- Parmentier, S. 2014. *Scaling-up agroecological approaches: what, why and how?* Belgica, Oxfam-Solidarity. 92.
- Pérez-García, O. y del Castillo, R. F. 2016. The decline of the itinerant milpa and the maintenance of traditional agrobiodiversity: Crops and weeds coexistence in a tropical cloud forest area in Oaxaca, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 228: 30-37.
- Pierri, N. 2005. Historia del concepto de desarrollo sustentable En: Foladori, G. y Pierri, N. (eds.) *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* México: Universidad Autónoma de Zacatecas, Miguel Ángel Porrúa. 27-82.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363: 447-465.
- Ramsden, M. W., Menéndez, R., Leather, S. R. y Wäckers, F. 2014. Optimizing field margins for biocontrol services: The relative role of aphid abundance, annual floral resources, and overwinter habitat in enhancing aphid natural enemies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199: 94-104.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J. y Habib, R. 2011. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 273-303.
- RCoreTeam. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria.
- Ríos, J. L., Torres, M., Cantú, J. E., Caamal, I., Jerónimo, F. y Cruz, A. 2010. Producción, productividad y rentabilidad de maíz grano (*Zea mays*) bajo riego por bombeo en la Laguna, México de 1990 a 2006. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9: 21-26.
- Robson, J. P. 2009. Out-migration and commons management: social and ecological change in a high biodiversity region of Oaxaca, Mexico. *International Journal of Biodiversity Science & Management*, 5: 21-34.

- Rodríguez, A. y Arias, L. M. 2014. La milpa y el maizal: retos al desarrollo rural en México y Perú. *Etobiología*, 12: 76-89.
- Rogé, P. y Astier, M. 2015. Changes in Climate, Crops, and Tradition: Cajete Maize and the Rainfed Farming Systems of Oaxaca, Mexico. *Human Ecology*, 43: 639-653.
- Rogé, P., Ríos, A. C., Ruíz, S. V., Sánchez, P., Mora, F., Altieri, M. A. y Astier, M. 2016. Manejo de agroambientes para la resiliencia agroecológica al cambio climático: los sistemas maíz cajete y maíz de temporal en San Miguel Huautla. *Agroecología*, 11: 47-57.
- Rosset, P. y Altieri, M. 2018. *Agroecología: ciencia y política*. Ecuador, Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). 206.
- Ruíz, M. d. J., Parra, M. R., Ávalos, G. y Mariaca, R. 2006. Conocimiento campesino local y cambio tecnológico en la milpa de Santa Marta, Chenalhó, Chiapas. *Geografía Agrícola*, 36: 7-27.
- Sánchez-Morales, P., Ocampo-Fletes, I., Parra-Inzunza, F., Sánchez-Escudero, J., María-Ramírez, A. y Argumedo-Macías, A. 2014. Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología*, 9: 111-122.
- Sánchez De P, M., Prager, M., Naranjo, R. E. y Sanclemente, O. E. 2012. El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología*, 7: 19-34.
- Sarandón, S. J. 2019. Potencialidades, desafíos y limitaciones de la investigación agroecológica como un nuevo paradigma en las ciencias agrarias. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51: 383-394.
- Seghezzeo, L. 2009. The five dimensions of sustainability. *Environmental Politics*, 18: 539-556.
- SEMARNAT 2002. Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Publicada el 17 de octubre de 2000 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 31 de diciembre de 2012.
- Sevilla, E. 2006. *De la sociología rural a la agroecología*. Barcelona, Icaria editorial. 251.
- Sevilla, E. y Woodgate, G. 2013. Agroecología: fundamentos del pensamiento social agrario y teoría sociológica. *Agroecología*, 8: 27-34.
- SIAP. 2019a. *Avance de siembras y cosechas. Resumen nacional por estado* [En línea]. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do [Último acceso: 25/05/2019].
- SIAP. 2019b. *Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado* [En línea]. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do [Último acceso: 01/07/2019].
- Skarbø, K. y VanderMolen, K. 2015. Maize migration: key crop expands to higher altitudes under climate change in the Andes. *Climate and Development*, 8: 245-255.
- Speelman, E., López-Ridaura, S., Colomer, N., Astier, M. y Masera, O. 2007. Ten years of sustainability evaluation using the MESMIS framework: Lessons learned from its application in 28 Latin American case studies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14: 345-361.
- Tataw, J. T., Baier, F., Krottenthaler, F., Pachler, B., Schwaiger, E., Wyhlidal, S., Formayer, H., Hösch, J., Baumgarten, A. y Zaller, J. G. 2016. Climate change induced rainfall patterns affect wheat productivity and agroecosystem functioning dependent on soil types. *Ecological Research*, 31: 203-212.
- Toledo, V. M. y Barrera-Bassols, N. 2008. *La memoria biocultural*. Barcelona, Icaria. 232.

- Tommasino, H. 2005. Sustentabilidad rural: desacuerdos y controversias En: Foladori, G. y Pierri, N. (eds.) *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre desarrollo sustentable* México: Universidad Autónoma de Zacatecas, Miguel Ángel Porrúa. 137-162.
- Triomphe, B. 2004. Rendimiento de maíz en milpas de campesinos. En: Baustista, F., Delfín, H., Palacio, J. L. y Delgado, M. C. (eds.) *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. México: UNAM, UADY, CONACYT, INE. 331-342.
- Turrent, A., Cortés, J. I., Espinosa, A., Hernández, E., Camas, R., Torres, J. P. y Zambada, A. 2017. MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8: 1169-1185.
- Turrent, A., Espinosa, A., Cortés, J. I. y Mejía, H. 2014. Análisis de la estrategia MasAgro-maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5: 1531-1547.
- UMR-142 2018. Censo de población 2018 La Trinidad Ixtlán.
- UZACHI 2014. Plan de Manejo Forestal La Trinidad Ixtlán.
- Van Reeuwijk, L. P. 1999. *Procedimientos para análisis de suelos (clasificación y correlación)*. México, Colegio de Postgraduados. 145.
- Vergara-Sánchez, M. A. y Etchevers-Barra, J. D. 2006. Relación entre el uso de la tierra y su fertilidad en las laderas de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*, 40: 557-567.
- Vignola, R., Harvey, C. A., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donatti, C. y Martinez, R. 2015. Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211: 126-132.
- Villar, B., Tosquy, O. H., López, E., Esqueda, V. A. y Palacios, G. 2013. Impacto de la pendiente y tres sistemas de producción sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16: 497-504.
- Vizcarra, I., Thomé, H. y Hernández, C. D. 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*: 55-73.
- Weiner, J. 2017. Applying plant ecological knowledge to increase agricultural sustainability. *Journal of Ecology*, 105: 865-870.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. y David, C. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 503-515.
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A. y Peigné, J. 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34: 1-20.

10 ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario aplicado a los campesinos de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

Fecha: _____

Nombre del entrevistado: _____

Id parcela: _____

I. DATOS DE LA PARCELA

01. ¿Su parcela es: Propia __ Prestada __ Rentada __
 02. ¿De cuánta superficie es su parcela?: _____ ha _____ m²
 03. ¿Cuánto tiempo han cultivado su parcela? _____ años
 04. En este año, ¿sembró su parcela? SI __ NO __

II. CULTIVOS, RENDIMIENTOS Y BENEFICIOS

05. ¿Qué cultivos y variedades agrícolas siembra y tiene en su parcela?
 06. ¿Qué partes de los cultivos consume o aprovecha?
 07. De estos cultivos, ¿cuáles llega a vender?
 08. En promedio, ¿cuántos kilogramos de maíz obtiene de su parcela cuando la cosecha es buena? _____ kg
 09. ¿Cuántos kilogramos de maíz consume su familia en una semana? _____ kg

05. Cultivos y variedades	06. Partes del cultivo que consume o utiliza	07. Venta de cultivos
Maíz <ul style="list-style-type: none"> • Blanco __ • Pinto __ • Amarillo __ • Rojo __ 		Sí __ No __
Frijol <ul style="list-style-type: none"> • Negro __ • Yumil __ • Zatope __ • Zalaya __ 		Sí __ No __ Sí __ No __ Sí __ No __ Sí __ No __
Calabaza		Sí __ No __
Chilacayota		Sí __ No __
Haba		Sí __ No __
Chícharo		Sí __ No __
Trigo		Sí __ No __
Quelites		Sí __ No __
Quintoniles		Sí __ No __
06. Árboles frutales <ul style="list-style-type: none"> • _____ • _____ • _____ • _____ • _____ 		Sí __ No __ Sí __ No __ Sí __ No __ Sí __ No __ Sí __ No __

III. COSTOS DE INVERSIÓN

10. ¿Cuántos jornales ocupa para realizar las labores del ciclo agrícola (preparación del terreno, siembra, limpia, fertilización, arrima, cosecha)?

11. De estos jornales, ¿cuántos son contratados? _____ ¿cuántos se cubren con mano de obra familiar? _____ ¿cuántos se cubren con guelaguetza (ayuda mutua)?

12. ¿Cuánto es el costo de los jornales contratados?

Actividades del ciclo agrícola	10. Número de jornales	11. Numero de jornales remunerados	11. Número de jornales por mano de obra familiar	11. Número de jornales por guelaguetza	12. Costo por jornal
Preparación del terreno: <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza del terreno • Remoción de la tierra (Arada, revolvida, quebrada de tierra) 					
Siembra					
Limpia					
Fertilización					
Arrima					
Cosecha					

13. Para la fertilización de su parcela, ¿utiliza fertilizantes químicos o abonos orgánicos?

13.1. ¿qué fertilizantes/abonos utiliza?

13.2. ¿Qué cantidad de fertilizante/abono aplica?

13.3. ¿Cuánto le cuesta el fertilizante/abono?

Fertilizantes químicos: _____

Abonos orgánicos: _____

Nombre: _____ Cantidad (kg): _____ Costo (\$): _____

Nombre: _____ Cantidad (kg): _____ Costo (\$): _____

Nombre: _____ Cantidad (kg): _____ Costo (\$): _____

Nombre: _____ Cantidad (kg): _____ Costo (\$): _____

14. ¿De dónde proviene el recurso monetario que invierte en el cultivo de la milpa? _____

15. ¿Recibe apoyos para el cultivo de su parcela? SI __ NO __

19.1 ¿Cuál es el concepto o el monto que recibe?

Nombre del apoyo: _____ Concepto o monto: _____

IV. UNIDAD FAMILIAR

20. ¿Cuántas personas se benefician directamente de la producción de su parcela? _____

21. ¿Cuál es el nombre, parentesco (con respecto al jefe o jefa de familia), edad, sexo, ocupación y escolaridad de estas personas?

22. De estas personas, ¿Quiénes colaboran con mano de obra en las actividades agrícolas?, ¿Quiénes aportan recursos económicos para el cultivo de la milpa?

23. Las personas que colaboran con mano de obra, ¿en qué actividades participan?

24. De las personas menores de 30 años, ¿quiénes cree usted que en el futuro continuarán con el cultivo de la milpa?

21. Nombre	21. Parentesco	21. Edad	21. Sexo	21. Ocupación principal	21. Escolaridad	22. Participación en las actividades agrícolas	23. Actividades en las que participan	24. Menores de 30 años que podrían continuar con el cultivo en el futuro
						Mano de obra ___ Aportación económica ___ Ninguna ___	Preparación ___ Siembra ___ Limpia ___ Fertilización ___ Arrima ___ Cosecha ___ Post-cosecha ___	
						Mano de obra ___ Aportación económica ___ Ninguna ___	Preparación ___ Siembra ___ Limpia ___ Fertilización ___ Arrima ___ Cosecha ___ Post-cosecha ___	
						Mano de obra ___ Aportación económica ___ Ninguna ___	Preparación ___ Siembra ___ Limpia ___ Fertilización ___ Arrima ___ Cosecha ___ Post-cosecha ___	

V. PLAGAS Y ENFERMEDADES

25. En su parcela, ¿existen plagas o enfermedades que afecten a sus cultivos? SI ___ NO ___ ¿cuáles?

Nombre de la plaga/enfermedad	Cultivo que perjudica

26. ¿Qué estrategias utiliza para controlar o eliminar las plagas y enfermedades?

Plaguicidas químicos ___ Plaguicidas orgánicos ___ Control biológico ___ No hace nada ___ Otros _____

26.1. ¿Cuál es el nombre de los productos que aplica?

26.2. ¿Qué plaga o enfermedad controlan?

26.3. ¿Qué cantidad aplica?

26.1 Nombre del plaguicida (químico u orgánico)	26.2 Plaga o enfermedad que controla	26.3 Cantidad que aplica

27. ¿Qué tanto le afectan a su cultivo las plagas y enfermedades?

Nada ___

Muy poco ___

Poco ___

Regular ___

Mucho ___

Casi todo ___

VI. EVENTOS CLIMÁTICOS

28. Los eventos climáticos como sequías, lluvias torrenciales y heladas, ¿han afectado los cultivos de su parcela?

SI ___ NO ___

28.1 ¿Cómo o en qué forma?

No germinación ___ Encañamiento ___ Acame ___ Pudrición ___ Otros _____

29. En el ciclo 2018, ¿qué eventos climáticos afectaron su cultivo? _____

VII. ADAPTACIÓN A LAS VARIACIONES DEL CLIMA

30. Frente a estos eventos climáticos, ¿han implementado alguna acción, estrategia o práctica para adaptarse a tales cambios o, para disminuir los efectos negativos que estos provocan en sus cultivos? SI __ NO __

30.1 Cuáles _____

31. ¿Usted cuenta con la posibilidad de aplicar riego a sus cultivos? SI __ NO __

32. ¿Usted siembra milpa en alguna otra parcela?

SI __ ¿En dónde se ubica(n) esta(s) parcela(s)? Zona alta __ zona media __ zona baja __

NO __

VIII. MANEJO DEL SUELO

33. Para preparar la tierra, ¿qué utiliza?

- Herramientas manuales __ Herramientas manuales y arado __ Arado __ Arado y tractor __ Tractor __

34. ¿En qué mes realiza la preparación del terreno? _____

35. Para fertilizar sus cultivos (se refiere solamente a la actividad de aplicar enmiendas orgánicas o fertilizantes químicos en todo el cultivo de manera homogénea) ¿qué utiliza?

- Sólo materia orgánica __ (Compost __ estiércol __ ceniza __ hojarasca __ otros _____)
- Materia orgánica y fertilizantes químicos (Compost __ estiércol __ ceniza __ hojarasca __ otros _____)
- Sólo fertilizantes químicos __ (**Pasar a pregunta 36.1**)
- No fertiliza __

36. Aparte de los materiales que mencionó, ¿usted aplica otro tipo de materia orgánica en su parcela? SI __ NO __

36.1 Dentro de su parcela, ¿usted aplica materiales orgánicos? SI __ NO __

- Hojarasca __ Ceniza __ Abono de monte __ Composta __ Aserrín __ Restos de comida __ Restos de cultivos __
- Otros _____

36.2. Aproximadamente, ¿En qué porcentaje de la parcela aplican estos materiales?

- 0-20 ___ 20-40 ___ 40-60 ___ 60-80 ___ 80-100 ___

37. Dentro de su parcela ¿Cómo elimina las hierbas?

- Corte con herramientas manuales ___
- Corte con herramientas manuales y aplicación de herbicidas ___
- Aplicación de herbicidas ___

38. ¿Usted deja descansar su parcela de cultivo? SI ___ NO ___ 35.1 ¿Cómo? Por partes ___ Toda la parcela ___

38.1 ¿Cada cuánto tiempo?

- Cada 2 años (1 siembra: 1 descansa) ___
- Cada 3-5 años (2:1, 3:1, 4:1) ___
- Cada 6-8 años (5:1, 6:1, 7:1) ___
- Cada 9-10 años (8:1, 9:1) ___
- No ha descansado por más de 10 años ___

38.2 ¿Por cuánto tiempo la descansa?

- 1 año ___ 2 años ___ 3 años ___ 4 años ___ Otros _____

39. ¿En su parcela, usted hace rotación de cultivos? SI ___ NO ___

39.1 ¿Con que cultivos? _____

39.2 La rotación ¿la aplica en toda la parcela o por partes?

- Toda la parcela ___ Por partes ___

39.3 ¿Qué tan frecuentemente practica la rotación de cultivos en su parcela?

- Todos los años ___ Cada dos o tres años ___ Cada >cuatro años ___

40. ¿Cuál es el uso o disposición principal que le da a los rastrojos de los cultivos que siembra en su parcela?

- **Maíz.** Alimento de ganado ___ Venta ___ Incorpora a la parcela ___ Otro _____
- **Frijol.** Alimento de ganado ___ Venta ___ Incorpora a la parcela ___ Otro _____
- **Chícharo.** Alimento de ganado ___ Venta ___ Incorpora a la parcela ___ Otro _____
- **Trigo.** Alimento de ganado ___ Venta ___ Incorpora a la parcela ___ Otro _____

40.1 ¿Qué porcentaje de los rastrojos de los cultivos deja o reincorpora a la parcela?

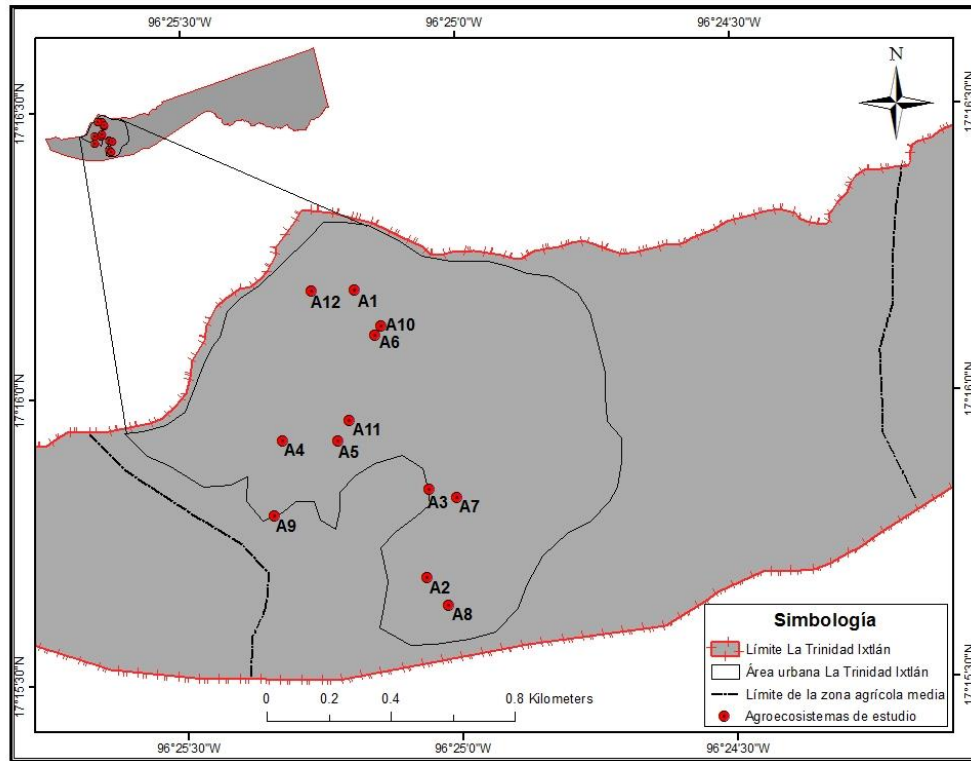
- 0-20 ___ 20-40 ___ 40-60 ___ 60-80 ___ 80-100 ___

40.2 De los rastrojos que quedan o deja en la parcela, ¿cuál es la disposición que les da?

- Se quema todo/gran parte ___
- Una parte se quema y otra se incorpora en la parcela ___
- Todo se incorpora en la parcela ___

41. ¿Qué prácticas o actividades realiza para evitar o disminuir la pérdida o erosión del suelo?

Anexo 1. Ubicación de los agroecosistemas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.



Anexo 3. Prácticas para el control de la erosión presentes en los agroecosistemas evaluados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca.

Agroecosistemas	Bordo vivo en la parte inferior de la parcela	Barreras vivas dentro de la parcela	Barreras muertas	Terrazas	Total de prácticas	Pendiente de la parcela %
A1		X			1	40
A9	X				1	50
A12	X				1	50
A3	X		X	X	3	24, (33) [†]
A4	X	X		X	3	11, (34) [†]
A7					0	40
A6	X				1	25
A8	X		X		2	45
A10	X				1	25
A11					0	28
A2		X	X		2	35
A5		X			1	28

[†] Entre paréntesis se coloca la pendiente original del terreno, mientras que el primer valor corresponde a la pendiente de las terrazas

Anexo 2. Merma en la producción de maíz por eventos climáticos en los agroecosistemas evaluados en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

	Agroecosistemas											
	CABC			CMBC				CBBC				
	A1	A9	A12	A3	A4	A7	A6	A8	A10	A11	A2	A5
Superficie sembrada	0.09	0.26	0.18	0.13	0.11	0.18	0.14	0.16	0.12	0.08	0.12	0.16
Producción de maíz (kg) buen ciclo [†]	421	1080	800	526	252	400	450	400	500	200	60	840
Producción de maíz (kg) ciclo 2018 [□]	SD	54	60	113	61	160	121	304	176	100	15	198
Rendimiento de maíz (kg ha ⁻¹) buen ciclo	4757	4106	4415	4040	2382	2209	3173	2533	4198	2660	503	5327
Rendimiento de maíz (kg ha ⁻¹) ciclo 2018	SD	204	331	865	579	885	856	1923	1474	1330	127	1258
Merma de la producción de maíz por eventos climáticos (%)	SD	95	93	79	76	60	73	24	65	50	75	76

[†] Un buen ciclo es aquel en el que no se presentan eventos climáticos como sequías o lluvias extremas.

[□] La producción del ciclo 2018 se vio afectada por un periodo de sequía.

SD: sin datos debido a que no se sembró milpa en el ciclo 2018

Anexo 5. Tipos de tierras campesinas de las parcelas de estudio en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca, 2018.

