

SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ EN DOS FORMAS DE MANEJO CAMPESIÑO EN CHIGNAUTLA, PUEBLA

Dulce Patricia Briones-Aranda¹, Primo Sánchez-Morales^{1*}, Ignacio Ocampo-Fletes², Omar Romero-Arenas¹, Miguel Acosta-Mireles³

¹Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas. Edificio VAL 1, Km 1.7 carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa. 72960, Puebla, Pue. México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla, No. 205, Santiago Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula. 72760, Puebla, México.

³Campo Experimental Valle de México (INIFAP), Km 13.5 carretera Los Reyes-Texcoco, Col. Coatlinchán, Estado de México. 56250.

*Autor de correspondencia: primo.sanchez@correo.buap.mx

RESUMEN

El uso de indicadores, permite la medición de variables de la sustentabilidad y facilita la toma de decisiones. El objetivo de este estudio, fue evaluar dos formas de manejo del agroecosistema maíz: policultivo (SPo) y monocultivo (SMo); se analizaron catorce indicadores a través de la metodología MESMIS, considerando el ciclo de cultivo 2019-2020. Se aplicó una encuesta a una muestra aleatoria n=65 campesinos. Como resultado de la evaluación, el SPo obtuvo 68 puntos porcentuales y el SMo obtuvo 60. Además, el SPo obtuvo mayor rendimiento, con un promedio de 1.8 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) como producto de la asociación de cultivos. Asimismo, el SPo destacó en zacate y grano de maíz cosechado, uso equivalente de la tierra, índice de prácticas agroecológicas, índice de agrobiodiversidad e independencia de insumos externos. La ganadería familiar, es un rasgo importante del agroecosistema de la zona, el SMo generó mayores ingresos derivados de dicha actividad, con un promedio de \$30,434.30 anuales; la proporción de empleos permanentes dentro de las familias campesinas, fue de 45% (SPo) y 48% (SMo) y el nivel de innovación fue bajo en ambos casos. Se concluyó que el SPo, tiene mayor tendencia hacia un manejo sustentable, lo cual resalta la importancia de revalorizar este tipo de agroecosistemas, cuyo potencial productivo fortalece la soberanía alimentaria.

Palabras clave: agricultura de subsistencia, autosuficiencia, crisis ecológica, desarrollo sostenible.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional implica una creciente demanda de alimentos, ante este escenario, se prevé un aumento ostensible de áreas agrícolas (FAO, 2017), mientras que las oportunidades para probar nuevas estrategias productivas y de conservación son cada vez más limitadas (Hunter *et al.*, 2017), en especial en áreas rurales, donde habita cerca del 40% de la población mundial, la cual depende principalmente, de la producción agrícola para su sustento (Sotelsek y Laborda, 2019).

La transición hacia sistemas agrícolas sustentables se basa en enfoques holísticos, tal es el caso de la Agroecología, cuyo potencial para contribuir con los objetivos del desarrollo sustentable (ODS), es cada día más reconocido (Barrios *et al.*, 2020). Un agroecosistema sustentable, es aquella unidad de producción de alimentos y materias primas, donde los insumos externos, son sustituidos por procesos naturales como la fertilidad natural del suelo y el control biológico. Lo cual favorece una productividad mayor, enfatiza la conservación de los recursos naturales e involucra aspectos sociales, culturales y económicos del campesinado (Fonseca-Carreño, 2022).

Citation: Briones-Aranda DP, Sánchez-Morales P, Ocampo-Fletes I, Romero-Arenas O, Acosta-Mireles M. 2024. Sustentabilidad del agroecosistema maíz en dos formas de manejo campesino en Chignautla, Puebla. Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v21i2.1612>

Editor in Chief:
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: May 23, 2023.

Approved: July 19, 2023.

Estimated publication date:
March 12, 2024.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



Gliessman (2020) indicó que el enfoque agroecológico, ayuda a hacer frente a las vulnerabilidades del sistema alimentario que se han manifestado a partir de la pandemia COVID-19, para poder garantizar el acceso a los alimentos locales y al mismo tiempo, promover movimientos sociales y cambios en políticas públicas. Además, los sistemas campesinos y sus modos de vida tradicional, conocimiento y saberes culturales, se asocian con la conservación de la diversidad de cultivos. No obstante, las prácticas tradicionales, presentan una tendencia a desaparecer, debido a la creciente implementación de técnicas de la agricultura moderna, basada en la especialización y mecanización productiva (Fonseca-Carreño, 2022).

Estudios realizados por González *et al.* (2018) en el municipio de Chignautla, han evidenciado un continuo deterioro de los suelos, asociado con las actividades antropogénicas. Estos suelos presentan algún grado de erosión, incluidas las áreas agrícolas de temporal; esos autores, atribuyen la erosión presente, a malas prácticas agrícolas relacionadas con el monocultivo de maíz, haba y forrajes, entre otros factores y a otras actividades como el sobrepastoreo de ganado. Aunado a esto, la simplificación de los agroecosistemas para elevar la productividad, trae consigo degradación de suelos, contaminación de aguas subterráneas y una continua pérdida de la biodiversidad (Tissier *et al.*, 2016). Todo esto constituye una amenaza a la sustentabilidad en la región.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la sustentabilidad del agroecosistema campesino de maíz en sus dos formas de manejo: monocultivo y policultivo, en dos comunidades de Chignautla, Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

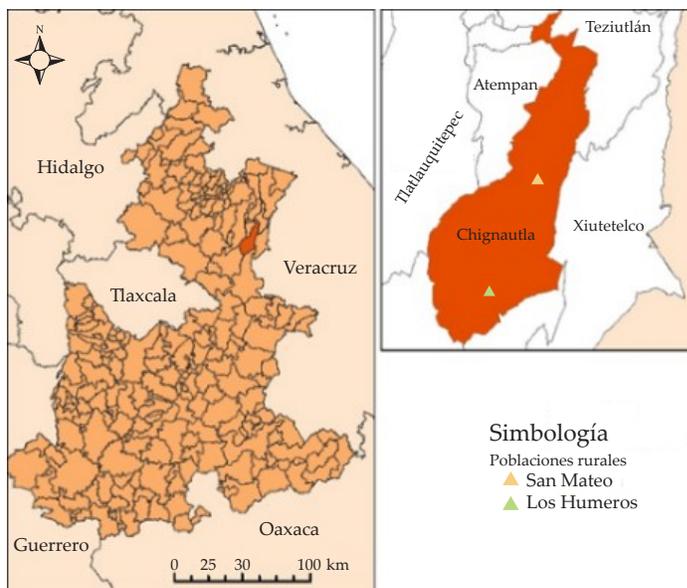
Características de la zona de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Chignautla, localizado al Noroeste del estado de Puebla en los paralelos 19° 39' 18" y 19° 51' 12" N, y los meridianos 97° 22' 18" y 97° 29' 4" O. Colinda al este con el municipio de Xiutetelco, al noreste con el municipio de Teziutlán; al norte con Hueyapan, al oeste con Tétéles de Ávila Castillo y Tlatlauquitepec y al suroeste con el municipio de Cuyoaco (INEGI, 2010).

El área de estudio comprende las comunidades de Los Humeros y San Mateo, ubicadas al sur del municipio (Figura 1). Dicha área, presenta un gradiente altitudinal de 2,460 a 3,150 m sobre el nivel medio del mar. Se desarrolla una agricultura de temporal, cuyo eje de la actividad agrícola es la producción de cultivos básicos como frijol y maíz. Se cultivan maíces criollos adaptados a las condiciones de la zona, entre los que destacan blanco, amarillo, azul, morado y rojo. El cultivo de maíz se lleva a cabo en dos formas de manejo: el monocultivo y en sistemas de policultivo o sistema milpa, donde puede estar intercalado con frijol (*Phaseolus vulgaris*), calabaza (*Cucurbita argyrosperma*), o haba (*Vicia faba*). Esta última también se cultiva en monocultivo.

El muestreo

Se realizó un estudio observacional y se consideró como universo el padrón de beneficiarios del programa federal PROAGRO-2018, para el municipio de Chignautla, con N=122



Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Localización del área de estudio.

beneficiarios, de los cuales 90% son productores de maíz de Los Humeros y San Mateo. Para calcular el tamaño de muestra se utilizó la siguiente fórmula para poblaciones finitas:

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

donde N : total de la población (122); $Z_{\alpha/2}$: valor crítico de la distribución normal estándar (1.96); p : proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población (0.9); q : proporción de la población que no presenta el fenómeno de estudio ($1-p=0.1$); d : nivel de precisión absoluto (0.05).

La aplicación, de la fórmula, dio como resultado un tamaño de muestra de $n=65$ productores de maíz. Por las características de su manejo, 43 se clasificaron en el sistema policultivo (SPo) y 22 en el sistema monocultivo (SMo).

Técnicas de investigación

Con el objeto de conocer el contexto físico y social, así como las interacciones y vínculos entre los actores y su entorno, se aplicó una entrevista semiestructurada a 21 informantes clave (autoridades municipales, ejidales y comunales, miembros del consejo de vigilancia, personas que ejercieron algún cargo en su comunidad, productores representativos ubicados a través de funcionarios locales, técnicos y representantes de instituciones). Asimismo,

se realizó observación directa en parcelas agrícolas. Para obtener información relacionada con las propiedades fisicoquímicas del suelo, se realizó un muestreo de suelo en campo; además, se aplicó una encuesta a la muestra seleccionada de campesinos $n=65$.

Enfoque metodológico

Dada la naturaleza multidimensional de la sustentabilidad, esta investigación se abordó desde el enfoque teórico de la Agroecología, considerando al agroecosistema como unidad fundamental de análisis. El estudio fue de tipo transversal sobre la misma escala temporal (ciclo agrícola 2019-2020), se evaluaron dos formas de manejo del cultivo de maíz: el SPo (sistema de referencia) y el SMO (sistema alternativo).

Como herramienta metodológica se utilizó al Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales, incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) propuesto por Masera *et al.* (2000), que consiste en una estructura operativa de seis pasos por cada tiempo de evaluación: 1) determinación del objeto de estudio, 2) determinación de los puntos críticos del sistema, 3) selección de indicadores estratégicos, 4) medición y monitoreo de indicadores, 5) presentación e integración de resultados y 6) conclusiones y recomendaciones.

Se seleccionaron 14 indicadores, de los cuales, seis pertenecen al ámbito económico, tres al área ambiental, cuatro al ámbito social y uno sobre la proporción de empleos permanentes por familia perteneciente al área económico-social.

Para comparar las medias de los grupos, se realizó una prueba t de Welch para muestras independientes.

RESULTADOS

Los resultados se presentan siguiendo los seis pasos del MESMIS, y se describen las dos formas de manejo.

Caracterización de los sistemas de manejo

Sistema policultivo (SPo): 23.3% de los productores de maíz, no cuentan con algún nivel de escolaridad, 39.5% tienen primaria, 18.6% concluyeron la secundaria, 4.7% alcanzó nivel medio superior, 7% tiene estudios de nivel técnico y 7% cuenta con educación superior. La edad promedio de los entrevistados, fue de 51 años y solo 11.6% de los entrevistados son menores de 30 años. El régimen de propiedad de la tierra de los productores rurales es propiedad social en 95.4% del área, seguida por la propiedad privada con 4.7%. Los campesinos de este grupo, utilizan variedades criollas de maíz, frijol y calabaza, en promedio la superficie sembrada es de 3.5 ha por productor y el rendimiento medio es de 1.4 t ha⁻¹ de maíz, 0.3 t ha⁻¹ de frijol, 0.2 t ha⁻¹ de calabaza, y 0.5 t ha⁻¹ de haba.

Sistema monocultivo (SMo): 13.6% de los entrevistados no cuentan con primaria, 45.5% accedió a educación primaria, 27.3% refiere contar con educación secundaria, 9.1% acudió al bachillerato y 4.6% tiene un nivel técnico. La proporción de entrevistados sin educación básica, concuerda con la información reportada por el Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE, 2016) para zonas rurales, cuya proporción de analfabetismo es de

13.2%. Los productores de este grupo, cultivan maíz criollo; la superficie promedio cultivada es de 3.2 ha por productor con rendimiento medio de 1.2 t ha⁻¹.

En el Cuadro 1 se detalla el contexto biofísico, así como las características generales de los agroecosistemas comparados.

Cuadro 1. Determinantes de los agroecosistemas.

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

Fuente: elaboración propia con información de actores clave.

Identificación de puntos críticos

Como segundo paso del MESMIS, se identificaron ocho puntos críticos de los sistemas de manejo del agroecosistema como se observa en el Cuadro 2. A partir de cada atributo se identificaron los criterios de diagnóstico y los indicadores estratégicos; se definió su método de medición y el área a la que pertenecen.

Con la información generada en campo a través de las diferentes técnicas, se obtuvieron los resultados para cada indicador por atributo.

Cuadro 2. Puntos críticos, criterios de diagnóstico e indicadores para la evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas.

Atributo	Puntos críticos como temas de investigación	Criterio de diagnóstico	Indicador	Área	Método de recolección de datos
Productividad	Baja productividad agrícola y baja rentabilidad	Eficiencia energética y económica	1. Rendimiento por sistema de manejo (t ha ⁻¹)	E	Encuesta, entrevista
			2. Cantidad de grano y zacate cosechado (t ha ⁻¹)	E	Encuesta, entrevista
			3. Porcentaje (%) de familias que disponen de una actividad ganadera	E, S	Encuesta, entrevista
			4. Ingresos anuales por venta de animales por sistema de manejo (\$)	E	Encuesta, entrevista
			5. Relación B/C (beneficio–costo) por ha	E	Encuesta, entrevista
			6. Uso equivalente de la tierra (UET) (UET >1)	E, A	Encuesta
	Aporte de mano de obra familiar en el proceso de producción	Conservación del empleo	7. Porcentaje de empleos permanentes por familia	E, S	Encuesta
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Bajo nivel de conservación del suelo	Conservación de recursos naturales	8. Índice de prácticas agroecológicas (0-1)	A	Encuesta, observación directa y entrevista
	Tendencia al monocultivo	Diversidad ecológica	9. Propiedades fisicoquímicas del suelo (%)	A	Muestreo en campo
			10. IDA: Índice de agrobiodiversidad (0-1)	A	Encuesta,
Adaptabilidad (flexibilidad)	Bajo nivel de innovación	Capacidad de cambios e innovación	11. Índice de adopción de nuevas técnicas (apropiación de innovaciones tecnológicas) (0-1)	S	Encuesta, entrevista
	Pérdida de conocimiento tradicional	Uso de técnicas ancestrales	12. Índice de técnicas ancestrales en uso (0-1)	S	Encuesta, entrevista
Equidad	Baja participación de las nuevas generaciones en las actividades de los agroecosistemas	Equidad inter-generacional	13. Relevo intergeneracional: Proporción de integrantes más jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema. (0-1)	S	Encuesta

Cuadro 2. Continuación,

Atributo	Puntos críticos como temas de investigación	Criterio de diagnóstico	Indicador	Área	Método de recolección de datos
Autodependencia (Autogestión)	Alta dependencia de apoyos del gobierno para la producción y bajos recursos económicos disponibles	Dependencia de recursos externos	14. Dependencia de insumos externos (%)	S	Encuesta

Fuente: elaboración propia.

Productividad

Rendimiento por sistema de cultivo

Se consideró el maíz en grano cosechado por hectárea reportado por los encuestados; asimismo, los rendimientos de los cultivos asociados en cada unidad de producción (frijol, calabaza, haba). Se calcularon rendimientos medios de 1.8 t ha⁻¹ (SPo) y 1.2 t ha⁻¹ (SMo). Respecto al valor óptimo (4.5 t ha⁻¹) tomado de Ebel *et al.* (2017), las puntuaciones de los sistemas policultivo y monocultivo fueron de 40% y 27% respectivamente, esto resalta el potencial productivo de las asociaciones de cultivo frente a los monocultivos.

Cantidad de grano y zacate cosechado

La media de la cantidad de rastrojo y grano de maíz cosechado, fue de 3.8 t ha⁻¹ en el SPo y de 2.7 t ha⁻¹ en el SMo, se obtuvieron valores de 74% y 43% respectivamente, con relación al valor óptimo de 6.22 t ha⁻¹ (Muñoz-Tlahuiz *et al.*, 2013).

Porcentaje de familias que disponen de actividad ganadera

De los entrevistados, 100% del SMo y 95% del SPo, desarrollan algún tipo de actividad ganadera; por esto, ambos se ubicaron en un nivel óptimo en este indicador. Esta actividad se caracteriza por la crianza de gallinas, guajolotes criollos, borregos, cerdos criollos, vacas y caballos. El número máximo de especies que se manejan por familia es de seis. Cabe destacar, la producción de especies nativas como el guajolote en ambos sistemas de manejo, que es de gran relevancia sociocultural, económica y alimenticia en el medio rural. Por otra parte, algunas especies de ganado, como caballos, se emplean como tracción en actividades del agroecosistema y como transporte.

Ingresos por venta de animales por sistema de manejo por año

En el SPo, la media de ingresos anuales fue de \$20,184.20, mientras que en el SMo, el ingreso anual fue de \$30,434.30 durante el periodo de enero 2019 a enero 2020. El criterio para establecer el óptimo fue el ingreso máximo reportado en la zona de estudio, es

decir \$30,434.30 Todos los entrevistados del SMO mencionaron realizar venta de ganado, mientras que en el SPo solo 84% reportó comercializar las especies que cría. Es decir, el 16% restante destina al autoconsumo los animales que cría.

Relación beneficio – costo por hectárea

Se enlistaron en primer término los ingresos del sistema, de acuerdo con los siguientes rubros: ingresos derivados de la cosecha de los cultivos (grano y rastrojo de maíz, calabaza, frijol, haba) y por otro lado, los egresos derivados de la mano de obra por la preparación del suelo, siembra, labores culturales, y cosecha; asimismo, se contabilizaron los costos por la compra de insumos básicos para la producción: semilla, fertilizantes orgánicos (estiércol) y sintéticos (principalmente urea y fosfato diamónico o DAP), así como insecticidas, fungicidas y herbicidas.

Los costos de producción promedio fueron de \$23,870 (SPo) y \$24,925 (SMo), y los ingresos de \$27,642 (SPo) y \$28,581 (SMo). El promedio de la relación beneficio/costo fue de 1.16 (SPo) y 1.15 (SMo). El valor óptimo planteado para este indicador fue de 1.0 de manera que ambos sistemas de manejo obtuvieron valores de 100%.

Uso equivalente de la tierra (UET)

Con el fin de evaluar el UET, que es el área relativa de tierra requerida bajo monocultivo para obtener la misma producción que se obtiene con una asociación bajo niveles similares de manejo, de acuerdo con Mead y Willey (1980), se analizaron datos de rendimientos de las principales asociaciones en los sistemas de manejo. Es decir, se contrastó el UET del maíz en monocultivo con el UET correspondientes a las asociaciones del SPo: maíz-frijol, maíz-calabaza, maíz-haba, y maíz-calabaza-frijol. Se obtuvieron rendimientos medios de 1.2 t ha⁻¹ (maíz monocultivo), 1.4 t ha⁻¹ (maíz-frijol), 1.1 t ha⁻¹ (maíz-calabaza), 1.6 t ha⁻¹ (maíz-haba) y 1.5 t ha⁻¹ (maíz-calabaza-frijol), de esta manera, se observó mayor rendimiento en las asociaciones de maíz-calabaza-frijol y maíz-haba; en la comparación múltiple de medias de Tukey de la variable rendimiento, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre dichos grupos, como se muestra en el Cuadro 3. Para evaluar este indicador se recurrió a la siguiente fórmula (Mead y Willey, 1980):

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

donde *La* y *Lb*: rendimiento relativo para los cultivos individuales; *Ma* y *Mb*: rendimiento de los cultivos en policultivo; *Sa* y *Sb*: rendimiento de los cultivos en monocultivo.

De acuerdo con Mead y Willey (1980), si el valor del UET > 1 existe ventaja en la asociación de cultivos, para el sistema monocultivo el valor del UET fue de 1, y para policultivo, la media del UET fue de 1.9, lo cual evidencia una mayor ventaja en las diferentes asociaciones de cultivo que se realizan en la zona, así como mayor eficiencia en el uso de recursos. En el Cuadro 4 se desglosa el valor del UET por cada sistema de cultivo. Se

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel de confianza de 95%.

Asociaciones de cultivo (I)	Asociaciones de cultivo (J)	Diferencia de medias (I-J)	p valor	Intervalo de confianza a 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Maíz-calabaza-frijol	Maíz-calabaza	0.41	0.45	-0.28	1.10
Maíz-frijol	Maíz-calabaza	0.24	0.86	-0.44	0.91
	Maíz-calabaza-frijol	-0.17	0.83	-0.64	0.30
Maíz-haba	Maíz-calabaza	0.51	0.44	-0.33	1.35
	Maíz-calabaza-frijol	0.10	0.99	-0.59	0.79
	Maíz-frijol	0.27	0.78	-0.40	0.95
Maíz monocultivo	Maíz-calabaza	0.08	1.00	-0.58	0.74
	Maíz-calabaza-frijol	-0.33	0.26	-0.77	0.12
	Maíz-frijol	-0.15	0.86	-0.58	0.28
	Maíz-haba	-0.43	0.37	-1.09	0.23

Fuente: elaboración propia con datos de encuesta.

propuso como valor óptimo para el UET=1.5, en el cual se produce 50% más que en la misma superficie destinada al monocultivo. Respecto a este valor, los sistemas de manejo obtuvieron puntajes de 100% (SPo) y 66% (SMo).

Porcentaje de empleos permanentes por familia

Se estableció la proporción de mano de obra familiar, en el número total de empleados que realizan las actividades derivadas del ciclo de cultivo, la proporción de empleos permanentes en la familia fue de 45% (SPo) y 48% (SMo). En este sentido, el nivel de empleabilidad es bueno, pero solo se arraiga parcialmente la mano de obra familiar, esto a su vez, tiene relación con el bajo nivel de relevo intergeneracional y el abandono de la actividad, principalmente, por parte de los integrantes más jóvenes. El nivel óptimo de este indicador se estableció como el 100% de mano de obra familiar, considerando que, en la búsqueda de

Cuadro 4. Uso Equivalente de la Tierra por sistema de cultivo de maíz.

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

Fuente: elaboración propia con datos de encuesta.

sistemas agrícolas más sostenibles, se hace hincapié en responder no solo a las demandas nutricionales de la familia campesina, sino también a la generación de empleo duradero dentro de esta.

Estabilidad, resiliencia y confiabilidad Índice de prácticas agroecológicas (IPA)

Se construyó un índice basado en prácticas identificadas en la zona de estudio: 1) cultivo intercalado, 2) incorporación de materia orgánica, 3) trazo de surcos en curvas a nivel, 4) picado de rastrojo en parcela, 5) deshierbes manuales, 6) construcción de zanjas bordo, presas, terrazas y 7) rotación de cultivos, 8) descanso de tierras, 9) mínima aplicación de herbicidas y plaguicidas y 10) movimiento mínimo del suelo (labranza mínima). El IPA se determinó mediante el producto del número de prácticas agroecológicas incorporadas, entre el número de prácticas agroecológicas totales reportadas (Cuadro 5), de acuerdo con la propuesta metodológica de Herrera-Pérez *et al.* (2017).

Se obtuvo una media de 0.52 para dicho índice en el SPo, valor que se clasifica en un nivel medio del IPA, y de 0.32 en el SMO, que lo ubica en un nivel bajo. Las prácticas implementadas más frecuentes entre los productores fueron: incorporación de materia orgánica, mínima aplicación de pesticidas y trazo de surcos perpendiculares a la pendiente.

Propiedades fisicoquímicas del suelo

Se efectuó un muestreo en campo previo a las determinaciones en laboratorio, se consideró determinar: textura, pH, capacidad de campo (CC), materia orgánica (MO), nitrógeno inorgánico (NO₃), fósforo (P), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE). Los suelos de ambos sistemas de manejo presentaron textura arenosa, y franco-limoso, mientras que, en ambos grupos, se observaron suelos medianamente alcalinos (pH=7.4-8.5), con capacidad rápida de filtración (CC=33-36%), con niveles medios de nitrógeno inorgánico (0.01%), pero con niveles bajos de fósforo y potasio. De acuerdo con los valores de referencia de MO de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000) en suelos volcánicos, los suelos de ambos grupos se encuentran en un rango Medio (6.1-10.9%). La CE del extracto de saturación es uno de los índices más evaluados para la concentración salina del suelo, su interés radica en el hecho de que un contenido alto de

Cuadro 5. Índice de prácticas agroecológicas realizadas por sistema de manejo (IPA).

Índice de prácticas agroecológicas	Sistema policultivo		Sistema monocultivo	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Muy bajo [0.0-0.3)	0	0	5	22
Bajo [0.3-0.5)	6	14	13	59
Medio [0.5-0.6)	21	50	3	14
Alto [0.6-0.8)	15	36	1	5
Muy alto [0.8-1.0)	0	0	0	0
Total	42	100	22	100

Fuente: elaboración propia con datos de encuesta.

sales solubles en el suelo puede afectar el crecimiento de los cultivos y en general la salud de este. De igual manera, cuando $CE < 1.0 \text{ dS m}^{-1}$ los efectos de la salinidad en el suelo son despreciables, tal es el caso de los suelos de ambos sistemas de manejo.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de las determinaciones en los suelos de ambos grupos, así como el valor óptimo por cada aspecto analizado y la puntuación de cada sistema en relación con dichos niveles óptimos, se obtuvieron valores medios: 65% (SMo) y 72% (SPo).

Índice de agrobiodiversidad (IDA)

Se evaluó el índice de Agrobiodiversidad (IDA), propuesta metodológica de Leyva *et al.* (2008), conformado por cuatro subíndices: Biodiversidad para la alimentación humana (IFER), Biodiversidad para la alimentación animal (IFE), Biodiversidad para la alimentación del suelo (IAVA) y Biodiversidad complementaria (ICOM) de utilidad para los humanos y para el agroecosistema. La diversidad de especies distintas reportadas en el SPo fue de 57, mientras que en el SMo fue de 28, lo cual puede tener relación con la producción especializada en ambos casos, donde más allá de generar interacciones de cultivo se busca incrementar la producción de los cultivos básicos como: maíz, frijol, haba, calabaza,

Cuadro 6. Valores óptimos para las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Parámetro	Unidad	Valor óptimo	SMo		SPo	
			Valor	%	Valor	%
CE	dS m^{-1}	$<1.0^*$	0.3	100	0.34	100
pH	Escala 0-14	7.5^{\S}	7.9	97	7.8	94
M.O.	%	13.5^{\dagger}	8.8	65	9.3	69
N	mg Kg^{-1}	220^{**}	132	60	144	65
P	ppm	24^{\ddagger}	2.5	10	1.0	4
K	ppm	175	21.8	12	27.2	16
Ca	ppm	220	128.3	58	143.2	65
Mg	ppm	180	129.8	72	188.3	100
RAS	Mmol L^{-1}	<3	0.2	100	0.2	100
CIC	Cmol (+) Kg^{-1}	25^{\ddagger}	17.7	71	26.9	100

*Cuando $CE < 1.0 \text{ dS m}^{-1}$ los efectos de la salinidad en el suelo son despreciables (NOM-021-RECNAT-2000).

§ Los límites de pH entre los que la nitrificación tiene lugar se sitúan entre 5.5 y 8.0 con un óptimo entre 6.9 y 7.5 (Benimeli *et al.*, 2019).

† De acuerdo con los valores de referencia planteados en la NOM-021-RECNAT-2000 para la clasificación de los contenidos de materia orgánica en suelos de origen volcánico.

** N: el valor óptimo corresponde a suelos bajo sistema de labranza mínima según lo reportado por Benintende *et al.* (2008).

‡ Los valores óptimos fueron tomados de la Guía de fertilidad de suelos y la nutrición vegetal en producción integrada (Villar y Villar, 2016).

‡ La reserva nutricional se considera abundante cuando la CIC es mayor de $25 \text{ Cmol (+) Kg}^{-1}$ de suelo (NOM-021-RECNAT-2000).

Fuente: elaboración propia.

dependiendo de la parcela y el sistema de manejo. Los índices alcanzados en ambos sistemas se encuentran por debajo de 0.66, el SPo obtuvo un IDA de 0.58 y el SMO 0.42, por lo cual, de acuerdo con los criterios de la metodología utilizada no se consideran sostenibles. El SPo presentó valores más altos que el SMO en los subíndices: biodiversidad para la alimentación humana (IFER), biodiversidad para la alimentación del suelo (IAVA) y biodiversidad complementaria (ICOM), mientras que, el SMO obtuvo un valor más alto en el subíndice biodiversidad para la alimentación animal (IFE). El hecho de que el IFER presente un valor más alto respecto a las demás categorías, evidencia el hecho de que entre los productores se priorice la seguridad alimentaria de la familia.

Los índices evaluados, muestran la necesidad de trabajar en mantener la biodiversidad actual e incrementarla en el mediano y largo plazo, con el objetivo de favorecer la integridad y funcionalidad de los sistemas de producción. Sin embargo, es importante destacar, la conservación de maíces nativos por parte de los campesinos en la zona de estudio, cuya importancia se extiende entre consumidores a nivel local y regional. Entre los campesinos del SMO, se identificó el cultivo de maíz criollo blanco y amarillo, y en el SPo, el cultivo de tres a cinco variedades de maíz criollo (arrocillo blanco, amarillo, azul, rojo y morado) el cual se destina a diversos fines, como la alimentación animal y humana, con diversos usos gastronómicos, como ingrediente principal en la cocina tradicional, en la elaboración de tortillas y tamales y en la preparación de bebidas ancestrales como el xole⁴ en el caso del maíz azul.

Adaptabilidad

Índice de adopción de nuevas técnicas (apropiación de innovaciones tecnológicas)

De los entrevistados 44.2% en el SPo y 31.2% en el SMO, señaló haber sido capacitado en materia de tecnología agrícola. Las innovaciones referidas, se agruparon en las categorías de manejo agronómico: 1) curvas a nivel, 2) labranza mínima, 3) sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), 4) selección masal en el cultivo de maíz, 5) manejo de especies forestales, y aquellas destinadas a la nutrición de cultivos y del suelo: 6) compostaje/lombricompostaje, 7) fertilización del maíz, y 8) aplicación de biofertilizantes. A partir de esto, se construyó el índice de adopción de nuevas técnicas, mediante el cociente del número de prácticas nuevas incorporadas, entre el número de prácticas totales en las que se recibió capacitación. El promedio de dicho índice en el SPo fue de 0.3, mientras que, en el SMO, fue de 0.4.

Índice de técnicas ancestrales en uso (ITA)

El listado de prácticas, se obtuvo mediante entrevista semiestructurada a actores clave, mismas que se mencionan a continuación: 1) uso de yunta, 2) predicción del tiempo mediante la observación de su entorno, 3) bendición de animales y semillas, 4) intercambio de semillas, 5) rotación de cultivos, 6) policultivos, 7) uso de unidades de medida tradicionales, 8) uso de herramientas ancestrales, 9) observación de las fases lunares para realizar actividades agrícolas. Entre los métodos de predicción meteorológica que refirieron los entrevistados se encontraron los siguientes: observación de nubes, observación de montañas o cerros, cabañuelas⁵, observación de la luna y el cielo, observación del comportamiento

de algunos insectos. Se calculó el ITA, como el número de prácticas ancestrales en uso dentro del agroecosistema, sobre el número total de prácticas ancestrales listadas para la zona de estudio. De esta forma, se agrupó en las clasificaciones: bajo (1 a 2 técnicas ancestrales), medio (3 a 5 técnicas ancestrales) y alto (6 a 9 técnicas ancestrales). Así, se ponderó en tres categorías: baja (0.1-0.3), media (0.3-0.6) y alta (0.6-0.9). Se obtuvieron valores medios de 0.50 (SPo) y de 0.56 (SMo), que ubicó a ambos sistemas en un nivel medio en el uso de técnicas ancestrales.

Equidad

Índice de relevo intergeneracional (IRI)

Para la construcción del IRI, se dividió el total de hijos que participan activamente en las labores del agroecosistema como la preparación del suelo, la siembra, labores culturales y cosecha, así como en las actividades del subsistema pecuario, entre el total de hijos por cada familia. La media del IRI para el SPo, fue de 0.5, mientras que del SMo, fue de 0.4, ubicándose ambos sistemas, en un nivel considerado como “medio” respecto a este índice, y al valor óptimo propuesto de 1, donde el relevo intergeneracional es adecuado, considerando que esto permite la continuidad de las actividades en el agroecosistema en las siguientes generaciones.

Dependencia de insumos externos (DIE)

Se listaron los insumos y cantidades necesarias para la producción de cada ciclo agrícola por cultivo y área cultivada: semillas (maíz, frijol, calabaza, haba, y otros), fertilizantes sintéticos (nitrogenados, fosfatados y potásicos) y orgánicos (biofertilizantes, estiércol compostado), herbicidas, insecticidas y fungicidas. Posteriormente, se clasificó cada insumo de acuerdo con su procedencia: local o externo; finalmente, se calculó la proporción de dependencia de insumos externos como el cociente del total de insumos externos, entre el total de insumos utilizados durante el ciclo agrícola por cada unidad de producción.

En el SPo se utilizaron 422 kg de insumos externos de un total de 1,850 kg de insumos por hectárea. En el caso del SMo, se utilizó una media de 495 kg de insumos externos de un total de 2,028 kg de insumos. La media del DIE fue de 0.22 (SPo) y 0.23 (SMo), lo cual, expresado en porcentaje, quiere decir que, cerca de 20% de insumos utilizados en el ciclo agrícola, provienen del exterior. Se consideró como valor óptimo, un nivel de dependencia de cero kg de insumos del exterior, el valor respecto a dicho nivel óptimo, se expresó en términos de independencia, es decir, 78% (SPo) y 77% (SMo). La diferencia en la cantidad de insumos externos utilizados radicó principalmente en una mayor demanda de fertilizantes orgánicos y sintéticos por parte del SMo.

Presentación e integración de resultados

En la integración de resultados, se determinó el nivel de desempeño de los sistemas de manejo por indicador, a fin de determinar sus ventajas comparativas, con este objeto se propusieron valores óptimos que se exponen en el Cuadro 7.

Como producto de la evaluación comparativa se realizó el gráfico tipo ameba (Figura 2), donde se observa que el SPo, tiene una mayor tendencia hacia un manejo sustentable,

Cuadro 7. Atributos, indicadores, valores óptimos y comparación de resultados de la evaluación de indicadores de sustentabilidad.

Atributo	Indicador	Criterio para el óptimo	Valor óptimo (100%)	Valor actual calculado			
				SPo	%	SMo	%
Productividad	1. Rendimiento por sistema de cultivo	Rendimiento promedio del policultivo maíz, frijol y calabaza bajo manejo agroecológico. *	4.5 t ha ⁻¹ (100)	1.8	40	1.2	27
	2. Cantidad de grano y zacate cosechado	Rendimiento de maíz y rastrojo para variedades criollas de maíz de temporal. §	6.22 t ha ⁻¹ (100)	3.8	74	2.7	43
	3. % de familias que disponen de una actividad ganadera	Número total de familias por sistema de manejo. **	100% (100)	95	95	100	100
	4. Ingresos por venta de animales por sistema de manejo (\$) por año	Media del ingreso anual por venta de animales a nivel local.	30,434 (100)	20,184	66	30,434	100
	5. Relación B/C (Beneficio/Costo) por ha	Se considera que existe rentabilidad cuando existe un margen de beneficios mayor a los costos de inversión B/C ≥ 1.0. †	1.0 (100)	1.2	100	1.1	100
	6. Uso equivalente de la tierra (UET)	Si el valor del UET > 1: existe ventaja en la producción en asociación de cultivos. †	1.5 (100)	1.9	100	1.0	66
	7. Porcentaje de empleos permanentes por familia	Valor máximo de empleos permanentes por unidad familiar dentro del sistema.	100% (100)	44.2	44.2	44.6	44.6
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	8. Índice de prácticas Agroecológicas	Valor máximo posible.	1 (100)	0.52	52	0.32	32
	9. Propiedades fisicoquímicas del suelo	Valor más cercano al nivel óptimo de cada propiedad analizada.	100% (100)	72	72	65	65
	10. IDA: Índice de agrobiodiversidad	Si el valor del IDA > 0.66 el sistema presenta sostenibilidad‡.	0.66 (100)	0.6	86	0.4	64
Adaptabilidad (flexibilidad)	11. Índice de adopción de nuevas técnicas (apropiación de innovaciones tecnológicas)	Valor máximo posible en relación con el total de innovaciones identificadas.	1 (100)	0.32	32	0.36	36
	12. Índice de técnicas ancestrales en uso	Valor máximo posible.	1 (100)	0.5	50	0.5	50

Cuadro 7. Continuación.

Atributo	Indicador	Criterio para el óptimo	Valor óptimo (100%)	Valor actual calculado			
				SPo	%	SMo	%
Equidad	13. Índice de relevo tergeneracional: Participación de integrantes más jóvenes de la familia en las actividades del agroecosistema.	Valor máximo posible.	1 Φ(100)	0.5	50	0.40	40
	14. Dependencia de insumos externos	Que la dependencia de insumos del exterior sea mínima. Φ	0 (100)	0.22	78	0.23	77

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

§Se estableció como valor óptimo el reportado por Muñoz-Tlahuiz et al. (2013), como resultado de la suma de la cosecha de grano y zacate en Libres, Puebla.

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

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

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

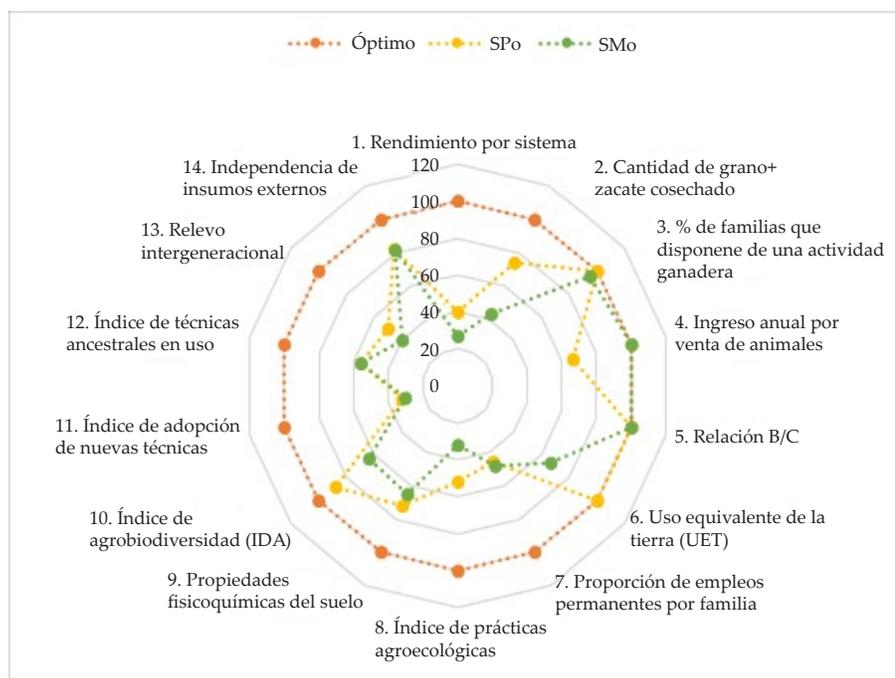
‡ Índice de agrobiodiversidad: Leyva y Lores (2012) señalan que valores del IDA por debajo de 0.66 no se consideran sostenibles, siendo 1.0 el valor máximo posible a obtener.

ΦPara el caso del indicador Dependencia de insumos, los valores de los agroecosistemas evaluados respecto al óptimo, se expresaron en términos de independencia de insumos del exterior.

Fuente: elaboración propia.

pues destacó en cinco de los catorce indicadores evaluados: Rendimiento por sistema, zacate+grano de maíz cosechado, uso equivalente de la tierra, índice de prácticas agroecológicas, índice de agrobiodiversidad y relevo intergeneracional; por otro lado, el SMo destacó en el indicador ingresos anuales por venta de animales.

Se realizó una prueba t de Welch, para muestras independientes en el lenguaje de programación R versión 4.2.2 (R Core Team, 2014), la cual tiene la característica de ser robusta cuando el tamaño de muestra es diferente y la varianza no es igual (Derrick *et al.*, 2016); se observaron diferencias estadísticamente significativas en los indicadores: Rendimiento por sistema, cantidad de grano y zacate cosechado, uso equivalente de la tierra, índice de prácticas agroecológicas, e índice de agrobiodiversidad (Cuadro 8).



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Gráfica araña de los sistemas de manejo evaluados.

DISCUSIÓN

En este apartado se discuten resultados obtenidos en los indicadores correspondientes a los cinco atributos de sustentabilidad de acuerdo con lo que sugieren Masera *et al.* (2000).

Atributo productividad

La producción de grano y zacate, se encontró en el rango reportado por Muñoz-Tlahuiz *et al.* (2013), 1.35 a 3.25 t ha⁻¹, quienes señalan que las variedades locales de ciclo tardío, son altas productoras de rastrojo, lo cual se asocia a un mayor tiempo de acumulación de materia seca. Asimismo, la diversificación juega un papel importante en el agroecosistema en la disponibilidad de biomasa, junto a otros factores agroclimáticos que pueden limitar la productividad de los cultivos, como el estrés hídrico. López-Castañeda (2011) mencionó que, para zonas de temporal con problemas de sequía, el estrés hídrico, tiene efectos muy severos en el rendimiento de grano y producción de biomasa aérea.

Los resultados en la relación beneficio-costos del SPo y del SMO, muestran una ligera ganancia, menor a lo reportado por Uzcanga-Pérez *et al.* (2022), quienes obtuvieron una relación beneficio/costo de 1.7 (sistema convencional) y 1.5 (sistema tradicional). Ramírez *et al.* (2018), señalan que al incluir el costo de la tierra y la mano de obra se obtienen pérdidas, por lo que sostienen, que el cultivo de maíz ha dejado de ser rentable, lo que a su vez ha generado abandono de tierras.

Cuadro 8. Prueba t de Welch para muestras independientes.

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

Fuente: elaboración propia con datos de encuesta. (*) para $P < 0.05$, (**) para $P < 0.01$, (***) para $P < 0.001$.

El guajolote criollo (*Meleagris gallopavo* L.), es una especie en peligro de extinción en la ganadería familiar (Aquino-Rodríguez *et al.*, 2003), cuya importancia social radica en que su crianza forma parte de la tradición familiar en áreas rurales y marginadas, su presencia en los sistemas de manejo fue del 23.3% (SPo) y 18.2% (SMo), esto coincide con lo reportado por Aquino-Rodríguez *et al.* (2003), quienes reportaron la presencia de esta especie en comunidades veracruzanas entre 20.6 y 27.6% de las unidades de producción estudiadas. La venta de carne de guajolote criollo fue de 128.25 kg, esto implicó la producción de alrededor de 30 guajolotes, cifra superior a la reportada por Aquino-Rodríguez *et al.* (2003) de un total de 72 kg vendidos durante un año, estos autores, señalaron que existe una estrecha relación entre la ganadería familiar y el desarrollo de los sistemas agrícolas de la familia campesina. Las asociaciones más productivas respecto al UET fueron: maíz-haba y maíz-calabaza-frijol, con un valor de UET de 2 y maíz-frijol con UET de 1.5, esto coincide con lo reportado por Ebel *et al.* (2017), donde la asociación más productiva fue maíz-frijol. A esta asociación, se atribuyen sinergias altamente funcionales entre estos cultivos. Por otro lado, señalaron que la combinación maíz-frijol-calabaza, bajo un manejo adecuado, genera sobrecosecha ya que son cultivos adaptados a la convivencia, puesto que fueron domesticados como policultivos. Novotny *et al.* (2021), señalaron que los sistemas milpa proveen a

más personas por hectárea de un conjunto de nutrientes y vitaminas que los monocultivos de maíz o frijol, con excepción de zinc y vitaminas A, C, B₉ y B₁₂. Por lo tanto, en dependencia del tipo de policultivo y su rendimiento, el sistema milpa podría brindar suficiencia nutricional hasta a tres personas por hectárea.

Por otro lado, la dinámica del trabajo familiar, coincide con lo reportado por Ortiz-Timo-teo *et al.* (2014), donde las labores de siembra y cosecha son realizadas por integrantes de la familia, por lo general, los hombres realizan las actividades que demandan más fuerza física como la siembra, mujeres y niños se integran a las labores de deshierbe manual, despunte, fertilización y cosecha.

En cuanto a prácticas agroecológicas, Herrera-Pérez *et al.* (2017), informaron mayor número de prácticas desarrolladas en sistemas de manejo tradicional con características de policultivo, similar a lo observado en el SPo, por lo que concluyen que este tipo de agroecosistemas, tienden a ser más sustentables que aquellos de tipo convencional y de monocultivo.

Atributo estabilidad, resiliencia y confiabilidad

A pesar de que las propiedades fisicoquímicas del suelo, dan una visión general del estado del suelo, es importante tomar en cuenta el aspecto biológico, ya que está relacionado directamente con la fertilidad del suelo, pues los microorganismos del suelo mantienen la estructura, mientras las lombrices lo remueven y favorecen la oxigenación (FAO, 2017). Por todo esto, es necesario integrar el análisis de las propiedades biológicas en la determinación de la calidad del suelo.

Atributo adaptabilidad (flexibilidad)

De acuerdo con Pérez-Guel *et al.* (2016), la adopción de nuevas técnicas se asocia con el uso de tecnología que permite desarrollar un potencial productivo. Pérez-Guel *et al.* (2016), reportaron el análisis de un paquete de 29 prácticas innovadoras en el estado de Guerrero, las cuales incluyen a las categorías mencionadas en este estudio y, también, las de organización, administración, tecnología de postcosecha, mercado y financiamiento. Finalmente, dentro de un programa de modernización sustentable, los autores sugieren reducir el universo de innovaciones a solo aquellas que tienen mayor peso entre los productores.

Atributo equidad

Vizcarra *et al.* (2015), sostienen que el relevo intergeneracional se traduce en la preservación y reproducción de los sistemas de producción local sustentables y de la misma biodiversidad. Conway *et al.* (2019), sostienen que la población dedicada a la agricultura está envejeciendo, la edad promedio de los responsables de las unidades productivas en el sector agrícola se estima en 54.7 años (FAO-SAGARPA, 2014), esto coincide con la edad media de los entrevistados: 51 años en el SPo y 54 años en el SMo. Dicho envejecimiento en la población rural, se relaciona estrechamente con un tema de bajo relevo intergeneracional, como se observó en ambos sistemas de manejo.

Atributo autodependencia (Autogestión)

Uno de los problemas asociados con la dependencia de insumos, es el aumento de precios sin precedentes que se ha experimentado desde 2021, de 163.9% en fertilizantes nitrogenados (Banco Mundial, 2022), lo que afecta por igual a agricultores y consumidores en zonas rurales y urbanas.

Por otra parte, Llamas-Guzmán (2020) resalta que la siembra a nivel mundial, se lleva a cabo con semillas que los mismos agricultores seleccionan y guardan en cada ciclo agrícola, a través de un proceso de selección basado en criterios como tamaño, color y sabor, lo que resulta en una gran diversidad de variedades locales. Todos los entrevistados de ambos sistemas de manejo, siguen este proceso de selección y conservación de las semillas, por lo cual no dependen del exterior para los ciclos posteriores.

CONCLUSIONES

Ambas formas de manejo del agroecosistema maíz, presentaron similitudes en cinco de seis indicadores evaluados del ámbito social: porcentaje de familias que disponen de una pequeña actividad ganadera, porcentaje de empleos permanentes por familia, índice de adopción de nuevas técnicas, índice de técnicas ancestrales en uso y relevo intergeneracional. En el ámbito económico, las diferencias se acentuaron en el indicador ingresos por venta de animales por sistema de manejo por año, ya que, en el SMO, la actividad pecuaria tiene mayor peso comercial, mientras que en el SPo, es una actividad complementaria que genera ingresos extra y ayuda a diversificar la dieta de la familia.

Respecto al área ambiental, integrantes del SPo desarrollan un mayor número de prácticas agroecológicas: uso más eficiente del suelo, propiedades fisicoquímicas del suelo con valores más cercanos a los óptimos reportados en la literatura, así como un mayor índice de agrobiodiversidad.

El SPo mostró mayor tendencia a la sustentabilidad con 68%, en comparación con el SMO que obtuvo 60%. Es importante revalorizar los agroecosistemas campesinos, en los cuales se hace un uso más eficiente de los recursos naturales y cuyo potencial productivo fortalece la soberanía alimentaria de las familias en el medio rural.

NOTAS

⁴El xole, es un tipo de atole a base de maíz, de origen prehispánico de los pueblos ubicados en la Sierra Nororiental de Puebla, que se puede encontrar en festividades patronales o ferias, cuya receta ha logrado mantenerse de generación en generación, en municipios como Teziutlán y Chignautla.

⁵Las cabañuelas, son un método tradicional que los agricultores usan, basado en la observación de las condiciones atmosféricas en los primeros 24 días de enero; su objetivo es predecir el tiempo a lo largo del año.

REFERENCIAS

Aquino-Rodríguez E, Arroyo-Lara A, Torres-Hernández G, Riestra-Díaz D, Gallardo-López F, López-Yáñez B. 2003. El guajolote Criollo (*Meleagris gallopavo* L.) y la ganadería familiar en la zona centro del estado

- de Veracruz. *Téc. Pecuaria en México*, 41(2). 165-173. ISSN: 0040-1889.
- Banco Mundial. 2022. Fertilizer prices expected to remain higher for longer. World Bank's Commodity Markets Outlook. <https://blogs.worldbank.org/opendata/fertilizer-prices-expected-remain-higher-longer>.
- Barrios E, Gemmill-Herren B, Bicksler A, Siliprandi E, Brathwaite R, Moller S, Batello C, Tittone P. 2020. The 10 Elements of Agroecology: enabling transitions towards sustainable agriculture and food systems through visual narratives, *Ecosystems and People*, 16(1). 230-247. DOI: 10.1080/26395916.2020.1808705.
- Benimeli MF, Plascencia A, Corbella R, Guevara D, Sanzano A, Sosa F, Fernández de Ullivari FJ. 2019. El nitrógeno del suelo. Cátedra de Edafología, Universidad Nacional de Tucumán. www.edafologia.org.
- Benintende MC, De Batista J, Benintende S, Saluzzio M, Muller C, Sterren M. 2008. Estimación del aporte de nitrógeno del suelo para la fertilización racional de cultivos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 19(37). 141-174. ISSN 1851-1716.
- Conway SF, McDonagh J, Farrel M, Kinsella A. 2019. Human dynamics and the intergenerational farm transfer process in later life: A roadmap for future generational renewal in agriculture policy. *International Journal of Agricultural Management*, 8(1). 22-30. DOI: 10.5836/ijam/2019-08-22.
- Derrick B, Deirdre T, White P. 2016. Why Welch's test is Type I error robust. *The Quantitative Methods for Psychology*, 12(1). 30-38. DOI: 10.20982/tqmp.12.1.p030.
- Ebel R, Pozas-Cárdenas JG, Soria-Miranda F, Cruz-González J. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2). 149-160. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tln_g=es ISSN 2395-8030.
- FAO. 2017. El futuro de la alimentación y de la agricultura: Tendencias y desafíos. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>.
- FAO-SAGARPA. 2014. Estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México. Ciudad de México. <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-2-estudio-sobre-el-envejecimiento-de-la-poblacion-rural-en-mexico.pdf>.
- Fonseca-Carreño NE. 2022. La agroecología y la ecoagricultura, estrategias sustentables en los sistemas de producción campesina. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 18. Doi: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr18.aees>.
- Gliessman S. 2020. Confronting COVID-19 with Agroecology. *Agroecology and Food Systems*, 44(9). 1115-1117. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1791489>.
- González G, Torres T, Rueda L. 2018. Riesgo de erosión en suelos del Ejido de Chignautla, Puebla. *Rev. Iberoamericana de Ciencias*, 5(1):7-16. ISSN 2334-2501.
- Herrera-Pérez L, Valtiera-Pacheco E, Ocampo-Fletes I, Tornero-Campante M, Hernández-Plascencia J, Rodríguez-Macías R. 2017. Prácticas agroecológicas en Agave tequilana Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas*, 8(18). 3713-3726. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i18.216>.
- Hunter M, Smith R, Schipanski M, Atwood L, Mortensen, D. 2017. Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. *BioScience*, 67(4): 386-391. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>.
- INEE. 2016. Panorama educativo de México: ¿En qué medida el sistema educativo nacional cubre la necesidad social de educación? <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/03/CS03c-2017.pdf>.
- INEGI. 2010. Censo de población y vivienda.
- Leyva A, Lores A, Tejeda T. 2008. Evaluación espacial y temporal de la Agrobiodiversidad en los sistemas campesinos de la comunidad Zaragoza en La Habana. *Cultivos Tropicales*, 29(1). 5-10. ISSN: 0258-5936. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193221581001>
- Llamas-Guzmán LP. 2020. Redes de abastecimiento de semillas como un bien común, caso de estudio Ixtenco, Tlaxcala, México. *In: Retos latinoamericanos en la lucha por los comunes*. CLACSO. DOI: <https://doi.org/10.2307/j.ctv1gm02k3.6>. pp: 89-110.
- López-Castañeda C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14. 907-918. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300017&lng=es&nrm=iso. ISSN 1870-0462.
- Masera O, Astier M, López-Ridaura S. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. Ciudad de México, Editorial Mundiprensa.
- Mead R, Willey RW. 1980. The Concept of a "Land Equivalent Ratio" and Advantages in Yields from Intercro-

- pping. *Experimental Agriculture*, 16(03). 217-228. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479700010978>.
- Muñoz-Tlahuiz F, Guerrero-Rodríguez J, López PA, Gil-Muñoz A, López-Sánchez H, Ortiz-Torres E, Hernández-Guzmán JA, Taboada-Gaytán O, Vargas-López S, Valadez-Ramírez M. 2013. Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(4). 515-530. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265628982009>. ISSN: 2007-1124.
- Novotny IP, Tiftonell P, Fuentes-Ponce MH, López-Ridaura S, Rossing WAH. 2021. The importance of the traditional milpa in food security and nutritional self-sufficiency in the highlands of Oaxaca, Mexico. *PLOS ONE*, 16(2). 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246281>.
- Ortiz-Timoteo J, Sánchez-Sánchez OM, Ramos-Prado JM. 2014. Actividades productivas y manejo de la milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica*, (38). 173-191. ISSN 1405-2768.
- Pérez-Guel RO, Martínez-Bautista H, López-Torres BJ, Rendón-Medel R. 2016. Estimación de la adopción de innovaciones en la agricultura. *Rev. Mex. de ciencias agrícolas*, 7(5): 2909-2923. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342016001102909&lng=es&tlng=es ISSN 2007-0934.
- R Core Team. 2014. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.
- Ramírez O, Espinoza E, González M, Hernández J. 2018. Situación económica del maíz en la región II Valles Zoques, Chiapas: Jiquipilas y Ocozocoautla. *Rev. Mex. de Agronegocios*, 43. 31-42. ISSN: 1405-9282.
- SEMARNAT. 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México.
- Sotelsek-Salem DF, Laborda-Castillo L. 2019. Desarrollo y productividad agrícola en América Latina: el problema de la medición. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 16(1). 61-83. ISSN 1870-5472.
- Tissier ML, Handrich Y, Robin JP, Weitten M, Pevet P, Kourkgy C, Habold C. 2016. How maize monoculture and increasing winter rainfall have brought the hibernating European hamster to the verge of extinction. *Scientific Reports*, 6 (1). 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep25531>.
- Uzcanga-Pérez NG, Cano-González AJ, Chanatásig-Vaca CI. 2022. Evaluación de sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en la Península de Yucatán. *Ecosist. y Rec. Agropecuarios*, 9(2). 1-14. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a9n2.3180>.
- Villar J, Villar P. 2016. Guía de la fertilidad de suelos y la nutrición vegetal en producción integrada. <https://www.agroptima.com/es/blog/analisis-de-suelos-agricolas/>.
- Vizcarra BI, Thomé OH, Hernández LC. 2015. Miradas al futuro: el relevo generacional en el desarrollo de la conciencia social como estrategia de conservación de los maíces nativos. *Carta Económica Regional*, 27(115). 55-73.