



DIVERSIDAD BIOLÓGICA DEL SISTEMA MILPA Y SU PAPEL EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN LA SIERRA MIXE, OAXACA

BIOLOGICAL DIVERSITY OF THE MILPA SYSTEM AND ITS ROLE IN FOOD SECURITY IN THE SIERRA MIXE, OAXACA

Hazael O. Ramírez-Maces¹, Margarita Tadeo-Robledo², Yuri Villegas-Aparicio³, Flavio Aragón-Cuevas⁴, Aarón Martínez-Gutiérrez^{3*}, Gerardo Rodríguez-Ortiz³, José C. Carrillo-Rodríguez³, Alejandro Espinosa-Calderón⁵ y Micaela de la O Olán⁵

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas, Oaxaca, México. ²Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México. ³Tecnológico Nacional de México, ITVO, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Oaxaca, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valles Centrales, Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca, México. ⁵INIFAP, Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (aaron.mg@voaxaca.tecnm.mx)

RESUMEN

La milpa se considera una fuente importante de diversidad biológica por la estrecha relación de las especies que integran en el sistema y los intereses antropocéntricos de las culturas; por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue documentar los factores que influyen en el número de especies asociadas e intercaladas en el sistema milpa, y aspectos relacionados con el consumo, compra y duración de granos básicos. Se aplicaron entrevistas a 60 productores en cinco localidades de la Sierra Mixe de Oaxaca en el año 2021. Los resultados revelaron relaciones significativas ($P \leq 0.05$, prueba de χ^2) en el número de especies que interactúan en el sistema milpa influenciado por el clima, tipo de milpa y su manejo. El consumo, duración y compra anual de granos básicos presentaron una relación significativa ($P \leq 0.05$, prueba de χ^2) con respecto a la estructura familiar, los hábitos de consumo locales y el abasto de alimentos que se obtienen del sistema milpa. Las variables de mayor peso descriptivo fueron: número de quelites, cultivos intercalados, la cantidad de maíz y frijol asociada. En la región de estudio se identificaron dos sistemas milpa, la milpa tradicional y la milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), con tres diferentes tipos de manejo: indígena, tradicional y convencional.

Palabras clave: Agrobiodiversidad, agroecosistemas, cultivos intercalados, grupos étnicos, muestreo estratificado.

SUMMARY

The milpa is considered an important source of biological diversity, due to the close relationship of the species that make up the system and the anthropocentric interests of the cultures; therefore, the objective of this research was to document the factors that influence the number of associated and intercropped species in the milpa system, and aspects related to the consumption, purchase, and duration of staple grains. Interviews were applied to 60 producers in five locations in the Sierra Mixe of Oaxaca in 2021. The results revealed significant relationships ($P \leq 0.05$, χ^2 test) in the number of species interacting in the milpa system influenced by climate, milpa type and its management. The consumption, duration and annual purchase of staple grains showed a significant relationship ($P \leq 0.05$, χ^2 test), with respect to the family structure, local consumption habits and the supply of food obtained from the milpa system. The variables with the greatest descriptive weight were number of quelites, intercropping, and the amount of maize and beans involved. In the studied region, two milpa systems were identified, the

traditional milpa and the milpa intercropped with fruit trees (MIAF); with three different types of management: indigenous, traditional and conventional.

Index words: Agrobiodiversity, agroecosystems, ethnic groups, intercropping, stratified sampling.

INTRODUCCIÓN

Los antecedentes históricos de la milpa en México son tan antiguos, que constituyen la base de la diversidad cultural de la adaptación humana con sus condiciones ambientales, representa una fuente de alimentación, diversificación, conservación, domesticación, identidad cultural, territorialidad y generación de ingresos (Soleri et al., 2022; Vásquez et al., 2018). En la milpa se siembra maíz, frijol y calabaza, cultivos más relevantes a nivel nacional debido a la importancia que representan en la dieta de los mexicanos. En superficie sembradas en hectáreas se cultiva maíz con 7.4 millones, frijol con 1.7 millones y calabaza con 161 mil. El consumo *per cápita* anual de maíz es de 196.4 kg, de frijol 10.4 kg y de calabaza 5 kg (CEDRSSA, 2019; SIAP, 2021).

En función de la zona geográfica, se intercala gran cantidad especies nativas y comerciales, esta diversidad de cultivos contribuye en gran medida a la seguridad alimentaria rural (CONABIO, 2016; Gutiérrez-Carvajal et al., 2019). En algunas regiones de México se pueden encontrar hasta 191 especies de flora asociada e intercalada, proveniente de diferentes familias botánicas, que aportan a una autosuficiencia nutricional (López-Ridaura et al., 2021; Novotny et al., 2021). La forma de sembrar y la asociación de especies en el sistema milpa dependen de diversos factores, como la inclinación del terreno, ya sea planos o de laderas (pendientes mayores de 15 grados), condiciones climáticas (siembra de temporal), tipo de

alimentación de agricultores, animales de traspatio, tipos de tracción y destrezas por parte del productor (Sánchez y Hernández, 2014).

Diferentes factores condicionan la potencialidad de este sistema de cultivo, como factores bióticos (suelo, fauna, flora y microorganismos), abióticos (clima, temperatura, agua, relieve y humedad relativa) y socioeconómicos (políticos, migración, gastronomía, identidad cultural, adquisición de bienes, organización comunitaria e intereses y destrezas del manejo por parte del productor) (Soleri *et al.*, 2022). El tipo de sistema milpa a establecer y la agrobiodiversidad asociada como polos filogenéticos se ven amenazados de forma creciente por los factores antes mencionados (Gutiérrez *et al.*, 2019; Vidal *et al.*, 2010). El manejo de agroecosistemas tropicales y subtropicales difiere del de los ambientes templados, con base en la percepción del campesino local y la implementación de tecnologías agrícolas con riesgos para la sustentabilidad del sistema (Mateos-Maces *et al.*, 2016).

Las unidades de producción familiar son reducidas, se encuentran bajo condiciones de temporal, en su mayoría en laderas con pendientes pronunciadas que oscilan del 15 al 65 %, los intereses antropocéntricos y económicos promueven diferentes sistemas de policultivos. El sistema milpa tradicional constituye un espacio dinámico de una gran diversidad de recursos fitogenéticos, entre los que destacan el maíz como especie principal, que interactúa con distintas especies de frijol, calabazas, chiles y tomates (CONABIO, 2016). La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) es un sistema donde están presentes árboles frutales con maíz principalmente, y por las condiciones edafoclimáticas en las partes bajas de la región, se pueden realizar hasta dos ciclos agrícolas anuales (Ruiz *et al.*, 2012).

En este estudio se identificaron tres tipos de manejo con base en la complejidad de los sistemas: indígena, tradicional y convencional. El manejo indígena involucra una diversidad de prácticas agrícolas milenarias derivadas del conocimiento autóctono generado durante siglos (Linares y Bye, 2012), en su esencia básica es la milpa que ha sido manejado mediante prácticas del sistema roza-tumba-quema, el manejo agronómico se realiza de manera manual y el almacenamiento de las mazorcas es en troje, y es destinado para consumo y obtención de semilla para la siguiente siembra (Latournerie *et al.*, 2005). En el manejo tradicional la preparación del suelo se realiza con apoyo de una yunta, la siembra es con esqueje, en algunas parcelas se incorpora estiércol en el suelo para la mejora de la fertilidad y el deshierbe se realiza de forma manual. En el manejo convencional prevalece el monocultivo, el barbecho se realiza con apoyo de yunta, uso de agroquímicos,

principalmente de fertilizantes sintéticos, aplicación de herbicidas para el control de arvenses que interactúan en el sistema, y el uso de pesticidas para control de plagas y enfermedades (Ortiz-Timoteo *et al.*, 2014).

Derivado de lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue documentar los factores que influyen en el número de especies asociadas e intercaladas en el sistema milpa, bajo la hipótesis de que el clima, el manejo y el tipo de sistema milpa implementado afectan a la diversidad de flora asociada e intercalada presente en el sistema milpa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Región de estudio

La investigación se realizó en cinco localidades (Nejapa, Tejas, Rancho Red, Rancho Metate y Santa María Tlahuitoltepec) de la Sierra Mixe, estado de Oaxaca. La ubicación, altitud y condiciones edafoclimáticas de las localidades se presentan en el Cuadro 1.

Muestreo

La línea base fue estructurada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) previo a la aplicación de las entrevistas. Se entrevistó a un grupo de 60 productores dedicados a la producción del sistema milpa en las cinco localidades. El número de encuestas realizadas en el presente estudio representa el límite inferior para la aplicación de muestras grandes, con error de muestreo (S_{yst}) de 0.43 y tamaño de muestra estimado ($N_{sy_{st}}$) de 53, con 95 % de confiabilidad. Para la selección del tamaño ideal de muestra por localidad se utilizó el muestreo de proporciones estratificadas propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1990), con la siguiente fórmula.

$$\sum ni = n$$

Dónde: ni representa la distribución de entrevistas (número de productores) por localidad; n representa el total de entrevistas a aplicar.

La población se dividió en cinco estratos debido al número de localidades y productores identificados.

El conjunto de productores se agrupó en estratos. Estrato 1: 77 productores de Nejapa, estrato 2: cuatro productores de Tejas, estrato 3: 15 productores de Rancho Red, estrato 4: cuatro productores de Rancho Metate y

Cuadro 1. Ubicación, altitud y las condiciones edafoclimáticas de las cinco localidades de la región de la Sierra Mixe.

No.	Localidad (Estratos)	Ubicación (Coordenadas)	Altitud (msnm)	Tipo de Suelo	Clima	TMA (°C)	PMA (mm)
1	Nejapa	17° 5' 42" N; 96° 3' 45" W	1477	Luvisol	SemSub	22	1100
2	Tejas	17° 5' 57" N; 96° 0' 54" W	2345	Acrisol	TemSub	18	1550
3	Rancho Red	17° 5' 20" N; 96° 1' 58" W	2410	Acrisol	TemSub	18	1380
4	Rancho Metate	17° 7' 23" N; 96° 3' 16" W	2040	Acrisol	TemSub	18	1480
5	Tlahuitoltepec	17° 5' 39" N; 96° 3' 46" W	2439	Luvisol	TemSub	18	1600

Fuente: INEGI (2022). SemSub: semicálido subhúmedo, TemSub: templado subhúmedo. msnm: metros sobre el nivel del mar. TMA: temperatura media anual. PMA: precipitación media anual. Tlahuitoltepec: Santa María Tlahuitoltepec.

estrato 5: 20 productores de Santa María Tlahuitoltepec. Con el muestreo de proporciones estratificadas se definió la distribución del número de entrevistados por localidad de acuerdo con la Fórmula 2:

$$\sum n_i = \frac{n_i}{N} p_i \quad [\text{Fórmula 2}]$$

Donde n_i : tamaño del grupo de productores por localidad
 N : tamaño total de productores que trabajan el sistema milpa, p_i : proporción de productores a entrevistar.

$$\text{Estrato 1} = \frac{77}{120} \times 0.64 = 38$$

$$\text{Estrato 2} = \frac{4}{120} \times 0.03 = 2$$

$$\text{Estrato 3} = \frac{15}{120} \times 0.12 = 8$$

$$\text{Estrato 4} = \frac{4}{120} \times 0.03 = 2$$

$$\text{Estrato 5} = \frac{15}{120} \times 0.16 = 10$$

Levantamiento y análisis de la información

Para estimar el promedio de número de especies y consumo de granos básicos se realizó la sumatoria de todas las muestras dividida entre el número de personas entrevistadas. La frecuencia acumulada corresponde a la sumatoria de las medias de cada variable respuesta y se calculó en términos porcentuales. A partir de los datos obtenidos se realizaron pruebas de ji-cuadrada con el fin de probar las hipótesis de dependencia entre el clima, manejo, tipo de sistema milpa, localidad y estructura familiar en las variables número de especies y consumo de granos básicos ($P \leq 0.05$); posteriormente, se realizaron pruebas

de bondad de ajuste de ji-cuadrada ($P \leq 0.05$) para precisar el nivel de significancia en las variables respuesta. Para el número de especies se utilizó análisis de componentes principales (CP) para la identificación de las variables de mayor peso descriptivo. Los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los 60 agricultores entrevistados, 22 se ubicaron en localidades de clima templado subhúmedo, 100 % se dedican al sistema MIAF, tres con manejo indígena, 17 con manejo tradicional y sólo dos productores realizan manejo de manera convencional. Los 38 entrevistados restantes están ubicados en ambiente semicálido subhúmedo, 29 de los cuales se dedican a la milpa tradicional y nueve adoptaron el sistema MIAF. El manejo que predomina con 33 productores es el tradicional, seguido por manejo indígena con tres agricultores y únicamente dos practican manejo convencional. Todos los agricultores entrevistados en las cinco localidades siembran en sistemas de asociación, como la milpa tradicional y el sistema MIAF, en ambos sistemas se observaron alrededor de 31 especies de flora asociada e intercalada, entre los que destacan el maíz, frijol, calabaza y diversas arvenses comestibles, mismas observaciones fueron documentadas por Leyva-Trinidad *et al.* (2020), quienes reportaron la misma cantidad de especies asociadas en un sistema milpa en Ocotlán Texizapan, Veracruz, México. Esta gran agrobiodiversidad es el resultado de un proceso de interacción de la diversidad inter e intra específica asociada e intercalada en estos sistemas (Vásquez *et al.*, 2018); por lo tanto, debe ser considerado como una estrategia para la preservación *in situ* de especies con fines alimentarios, medicinales, culturales y religiosos.

En las pruebas de ji-cuadrada se determinó que el número de especies presentes difiere en relación con el clima imperante, el tipo de sistema milpa y el manejo implementado por los agricultores (Cuadro 2); estas

Cuadro 2. Promedio de especies asociada e intercalada con respecto al clima, tipo de sistema y manejo implementado en la Sierra Mixe, Oaxaca, México.

	Variables					Frecuencia acumulada [†]
	Maíz	Frijol	Calabaza	Quelites	Cultivos intercalados	
Flora asociada e intercalada con respecto al clima (χ^2 = 28.46**, $P \leq 0.01$)						
TemSub	2.7	2.0	2.0	11.0	6.0	23.7 (42)
SemSub	2.34	1.5	1.7	10.8	2.6	18.9 (58)
	$\chi^2 = 5.2^*$	$\chi^2 = 0.6^{NS}$	$\chi^2 = 3.6^{NS}$	$\chi^2 = 42.5^{**}$	$\chi^2 = 4.9^*$	
Flora asociada e intercalada respecto al tipo de sistema milpa (χ^2 = 19.64**, $P \leq 0.01$)						
Tradicional	2.3	1.5	1.8	11.5	1.9	18.9 (44)
MIAF	2.7	2.0	1.9	10.4	5.7	22.7 (56)
	$\chi^2 = 2.16^{NS}$	$\chi^2 = 3.77^{NS}$	$\chi^2 = 0.89^{NS}$	$\chi^2 = 0.25^{NS}$	$\chi^2 = 64.15^{**}$	
Flora asociada e intercalada respecto al tipo de manejo (χ^2 = 1434.81**, $P \leq 0.01$)						
Indígena	1.7	1.7	1.9	1.4	2.7	9.4 (12)
Tradicional	2.7	1.8	1.9	10.9	4.1	21.4 (84)
Convencional	1.8	1.8	1.8	4.5	3.0	12.8 (4)
	$\chi^2 = 197^{**}$	$\chi^2 = 114^{**}$	$\chi^2 = 121^{**}$	$\chi^2 = 713.05^{**}$	$\chi^2 = 296.95^{**}$	

*: $P \leq 0.05$, Significativo. **: $P \leq 0.01$ Altamente significativo. ^{NS}: no significativo (χ^2). [†]Frecuencia porcentual en el número de especies acumuladas. SemSub: semicálido subhúmedo, TemSub: templado subhúmedo.

observaciones coinciden con lo reportado por Williams *et al.* (2018), quienes mencionaron que la diversidad de especies se ve afectada por las características de la familia, la comunidad y el sistema. En este estudio el clima templado subhúmedo presentó en promedio 23.7 especies de flora asociada e intercalada, mientras que el clima semicálido subhúmedo presentó un promedio de 18.9 especies.

En el caso de maíz, los agricultores lo seleccionan y clasifican con base en colores de grano, asociándolo con la fenología (ciclo corto y largo) de cada genotipo y adaptación a las condiciones climáticas imperantes en la región. Mateos-Maces *et al.* (2016) señalaron parámetros semejantes en los productores de la región tropical de San Felipe Usila, Oaxaca. En las pruebas de ji-cuadra (Cuadro 2), para el clima y el manejo se presenta efecto significativo ($P \leq 0.05$) en cuanto a la cantidad de genotipos de maíz asociados, presentando mayores frecuencias en el clima semicálido subhúmedo (2.7 genotipos de maíz diferentes) y el manejo el tradicional presenta mayor diversidad de maíces en asociación (Cuadro 2). Lo anterior se asocia con un clima más favorable a menor altitud para la adaptación de las especies en estos lugares comúnmente conocidos como "tierra caliente".

Se pueden encontrar hasta cuatro fenotipos diferentes de maíz para las parcelas de las cinco localidades evaluadas, siendo los colores predominantes el amarillo (38 %), seguido del blanco (28 %), azul (18 %), pinto (8 %), negro (4 %), rojo (3 %) y con menos frecuencia naranja (2 %), lo que indica una amplia diversidad genética. Este resultado coincide con lo reportado por Aragón *et al.* (2006) para la sierra Mixe, quienes reportaron la presencia de hasta 16 razas nativas de diferentes colores, entre las que destacan la raza Olotón, Serrano Mixe y Tepecintle.

En lo que se refiere a frijol, los agricultores reconocen las especies *Phaseolus vulgaris*, *P. coccineus* y *P. dumosus*, clasificándolos por el color de grano (negro, amarillo y pinto), hábito de crecimiento (guía y mata) y adaptabilidad a las condiciones edafoclimáticas (resistencia a sequías), estas observaciones coinciden con las especies reportadas para la Sierra Norte por García-Narváez *et al.* (2020). En las pruebas de ji-cuadra (Cuadro 2), el manejo presenta efecto significativo ($P \leq 0.05$) en el número de especies cultivadas, con mayor variación de 82 % en el manejo tradicional con hasta tres especies diferentes asociadas dentro de una parcela (Cuadro 2). Esta diversidad de especies observadas es de menor magnitud que lo reportado por Cruz *et al.* (2021) en un estudio realizado en Amado Nervo, Chiapas, con 12 variantes de frijol. Probablemente este resultado se

debe al tipo climático de la sierra Mixe de Oaxaca, donde predomina el templado subhúmedo asociado con lluvias torrenciales, heladas tempranas, y paralelamente mayor incidencia de enfermedades que afectan de manera significativa las especies presentes en los sistemas tradicionales de producción en las comunidades.

En cuanto a la diversidad de calabaza cultivada, ésta fue mayor con el manejo tradicional con respecto al manejo indígena y convencional (Cuadro 2). El productor identifica las especies *Cucurbita argyrosperma*, *C. moschata*, *C. pepo* y *C. ficifolia* por la forma del fruto, el tipo de cascara y de semilla. La identificación de estos caracteres morfológicos juega un papel importante en la selección y conservación de morfotipos (Canul *et al.*, 2005). Estas mismas observaciones fueron utilizadas en las colecciones biológicas realizadas por investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2022), donde se reporta la presencia de cinco especies de calabazas en la región de la Sierra Mixe, con su forma de aprovechamiento, así como las prácticas de manejo en los sistemas de producción que han permitido que la variación genética de calabaza se conserve y sea una fuente continua de variabilidad (Canul *et al.*, 2005).

Con las pruebas de ji-cuadra se demostró que el clima, el tipo de sistema milpa y el manejo difieren en cuanto a la diversidad de quelites presentes (Cuadro 2). El agricultor identifica hasta 28 diferentes especies comestibles, principalmente arvenses, como quintonil (*Amaranthus hybridus*), yerbamora (*Solanum nigrum*), verdolaga (*Portulaca oleracea*) y pápalo (*Porophyllum ruderale*) como los más frecuentes. Las zonas templadas subhúmedas se caracterizan por la presencia de huauzontle (*Chenopodium berlandieri*), violeta (*Viola odorata*) y amaranto (*Amaranthus* spp.), mientras que en el clima semicálido subhúmedo se encuentran con mayor frecuencia el quelite blanco (*Amaranthus* sp.), hule de noche (*Cestrum nocturnum*) y pápalo (*Porophyllum ruderale*). Esta diversidad es menor a la reportada por Balcázar-Quiñones *et al.* (2020), quienes mencionaron hasta 68 especies comestibles para San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. Es notoria la pérdida de esta diversidad de especies por diferentes factores, entre los que destacan el cambio climático, el uso excesivo de agroquímicos, la introducción de variedades mejoradas de semillas y el cambio de uso de suelo en la región.

En los cultivos intercalados las pruebas de ji-cuadrada detectaron que el clima, el tipo de milpa y el manejo tienen relación sobre número de especies (Cuadro 2). Los sistemas intercalados representan una alternativa productiva debido a la generación de ingresos para los productores (Cadena-Iñiguez *et al.*, 2018). El 15 % de los

entrevistados comercializa sus productos en los diferentes tianguis de la región, en el sistema milpa tradicional se comercializan cultivos intercalados como el cempasúchil (*Tagetes erecta*), chile (*Capsicum* spp.), frijol y papa (*Solanum tuberosum*).

En el sistema MIAF de clima templado se venden los frutos de los árboles intercalados como el durazno (*Prunus persica*), manzana (*Malus domestica*), ciruela roja (*Prunus domestica*) y aguacate (*Persea americana*), mientras que en el MIAF de clima semicálido se intercala con *Agave* y en algunos casos los agricultores cuentan con maquinaria agrícola para su transformación siendo comercializado en los mercados locales y estatales como mezcal.

La estructura familiar es una condicionante, según estudios realizados por Ávalos-Rangel *et al.* (2021), aporta a la mano de obra hasta el 50 % de la entrada de insumos en el sistema milpa, reduciendo los costos de producción. En la región mixe aún se conserva el intercambio de trabajo familiar o la 'gozona', una forma de ayuda mutua también llamado 'mano de vuelta', con una relación beneficio costo (RBC) de 3.2, con ganancias de \$3 368.44 MXN (Ruiz *et al.*, 2012).

En la Sierra Mixe, los productores obtienen el 97 % del germoplasma utilizado en la milpa de su propia cosecha. En algunas localidades las semillas han sido seleccionadas y conservadas hasta por 50 años, como es el caso del maíz amarillo y blanco en la localidad de Tejas. Algunas especies de frijol se han cultivado hasta por 70 años en la localidad de Rancho Red. En calabaza, las especies *C. moschata* y *C. argyrosperma*, conocidas comúnmente como calabaza ardilla y camote, respectivamente, se han conservado hasta por 50 años en la comunidad de Nejapa. En algunas localidades del país la conservación del germoplasma nativo representa una obligación social y moral, principalmente por la relevancia en los rasgos culturales, religiosos y de soberanía alimentaria (autoconsumo) (Hernández *et al.*, 2020).

Las temperaturas elevadas y la distribución heterogénea de precipitación por efecto del calentamiento global han provocado la pérdida de la biodiversidad y los bajos rendimientos de los cultivos; en el caso del grano de maíz el rendimiento se ha reducido en 3.8 %, que equivale a una quinta parte de las reservas mundiales actuales (Morales-Ruiz y Díaz-López, 2020).

En las entrevistas realizadas, los productores señalan que existen la pérdida de la diversidad y el desinterés en continuar con la siembra del grano por los bajos rendimientos, altura de la planta, principalmente en la raza Olotón, que puede rebasar los 4 m haciéndolo más

susceptibles al acame provocado por vientos, ciclos largos superiores a los nueve meses, susceptibilidad a déficit hídrico, lluvias extremas, plagas y enfermedades. Otro factores asociados con la pérdida de diversidad son los hábitos de crecimiento en algunas especies de frijol, que provocan daños en los cultivares de maíz debido al peso de las vainas; por ende, el productor decide reemplazar esta especie, además del tiempo de cocción, sabor, morfología de las estructuras comestibles que no son atractivos para la venta en los mercados locales, fenómenos negativos a la agricultura como paternalismo, desconfianza por parte del agricultor hacia actores institucionales, abandono del campo y migración (Vidal *et al.*, 2010).

Análisis de componentes principales

Los tres primeros componentes principales explicaron 92 % de la variación total (Cuadro 3), con relación a la diversidad de flora asociada e interactuante en el sistema milpa. Las variables de mayor importancia en el CP1 fueron el número de quelites, tipo de deshierbe, manejo de plagas y enfermedades. En el CP2 la principal variable, fue las especies intercaladas, mientras que en el CP3 fue la presencia de diferentes especies, como el maíz, frijol, calabaza y tipo de fertilización. Según los estudios realizados por Martínez *et al.* (2020), las variables definitorias del CP1, CP2 y CP3 son elementos que se asocian con una mayor sustentabilidad en agroecosistemas. Se excluyeron las variables preparación antes de la siembra y ciclos productivos debido a que éstas fueron altamente correlacionadas entre sí. En el diagrama de dispersión con los dos primeros CP, se observó que las agrupaciones se realizan con base en el clima, tipo de

sistema milpa y manejo que se realiza en los sistemas de producción (Figura 1).

En el clima templado subhúmedo se agruparon las localidades de Santa María Tlahuitoltepec, Rancho Red, Rancho Metate y Tejas; en aquellas dedicadas al sistema MIAF se identificaron tres tipos de manejo: indígena, tradicional y convencional. En el clima semicálido subhúmedo sólo la localidad de Nejapa se agrupó con dos tipos de sistema milpa, el sistema MIAF con manejo tradicional y convencional y el sistema milpa tradicional con manejo indígena, tradicional y convencional. Las observaciones realizadas coinciden con lo reportado por López-Ridaura *et al.* (2021) quienes mencionaron que los agricultores deciden las asociaciones y cultivos intercalados en el sistema milpa con base en sus variantes climáticas, medios y oportunidades de mercado.

En relación con el consumo diario de grano de maíz, la duración y compra anual depende directamente de la estructura familiar, hábitos de consumo y el abasto obtenido por el tipo de sistema establecido para la producción de sus alimentos (Cuadro 4). En familias compuesta por dos a cuatro integrantes con dedicación a la milpa tradicional, el consumo de maíz oscila entre 1.0 y 5.5 kg diarios, con una duración promedio de seis meses del maíz cosechado, el resto del año compran aproximadamente entre 250 y 300 kg. En familias de cinco a siete integrantes que se dedican al sistema MIAF y milpa tradicional, el consumo diario promedio es de 3 kg, con una duración de cinco meses del grano cosechado y una compra anual de 700 kg.

En familias compuestas de ocho a nueve integrantes

Cuadro 3. Valores y vectores propios de los primeros tres componentes principales, del sistema milpa de la Sierra Mixe del Estado de Oaxaca, México, 2021.

Variable	CP1	CP2	CP3
Maíz	0.031925	0.111011	0.611963
Frijol	0.026772	0.105018	0.604975
Calabaza	0.015709	0.0439	0.150942
Quelites	0.996689	-0.048112	-0.017943
Cultivos intercalados	0.043653	0.983536	-0.173727
Fertilización	-0.020224	0.062958	0.429432
Deshierbe	-0.035753	-0.007896	-0.02099
Manejo de plagas y enfermedades	-0.032173	0.032202	0.146178
Valor propio	12.37	5.54	0.88
Variación explicada	60	27	4
Variación acumulada	60	87	92

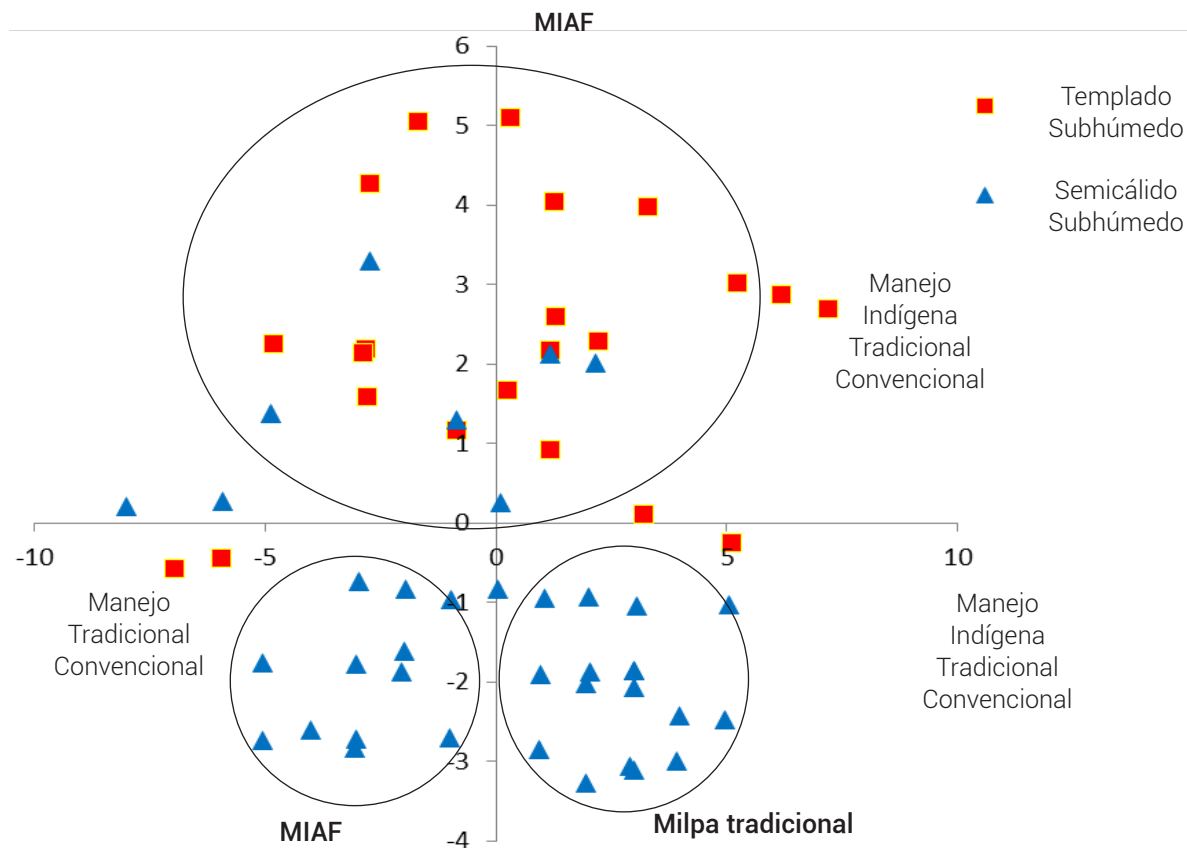


Figura 1. Dispersión del sistema milpa tradicional y MIAF en el plano formado por los dos primeros componentes principales, de acuerdo con el clima.

que en su mayoría se dedican al sistema MIAF, se consumen hasta 6 kg diarios, con una duración de hasta seis meses de la cosecha y una compra anual de 1500 kg. Estas observaciones coinciden con lo reportado por Ruiz *et al.* (2012) quienes asociaron la duración de maíz para autoconsumo, con el tipo de sistema milpa al cual se dedican los agricultores. En el sistema milpa tradicional se presentan cosechas para cubrir hasta seis meses del año, mientras que en el sistema MIAF se llegan a comprar en hasta 600 kg anuales; sin embargo, en estos sistemas existe mayor ingreso por la venta de las frutas, que alcanza para cubrir la adquisición de grano para la alimentación.

En lo referente al consumo de frijol, la duración depende de la estructura familiar y los hábitos alimenticios por localidad (Cuadro 4). El Centro de Estudios para el Desarrollo Rural y Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2019) reporta consumo *per cápita* de 23 kg anuales en el estado de Oaxaca, este grano básico principalmente proviene en los sistemas de producción tradicional o del sistema milpa. En las cinco localidades de estudios se observó que en familias compuestas por dos a cuatro integrantes el consumo semanal oscila entre 1.0 y 3.0 kg, que alcanza para seis meses para el

autoconsumo. Para familias de cinco a siete integrantes el consumo semanal es aproximadamente de 4.0 kg, con lo que se cosecha alcanza para la alimentación durante cinco meses, y en familias de ocho a nueve integrantes con un consumo semanal de 6.0 kg, lo que se produce alcanza para abastecer la alimentación familiar por cuatro meses del año.

De forma similar, el consumo mensual de calabaza y su duración está relacionada con la estructura familiar y los hábitos alimenticios por localidad (Cuadro 4). Un mayor número de integrantes de la familia aumenta de manera proporcional el número de frutos consumidos y la duración de la cosecha en meses durante el año disminuye (Cuadro 4). Esta especie se puede consumir en diversos platillos pluriculturales y estructuras comestibles propias de la planta, se aprovecha desde las hojas (guías de calabaza), flores, frutos tiernos, calabaza madura y las semillas tostadas (Basurto-Peña *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

En la región de estudio se identificaron dos tipos de

Cuadro 4. Consumo y duración de granos básicos con respecto al número de integrantes de familia, localidad y tipo de sistema en la Sierra Mixe, Oaxaca, México.

Factores	Variables					
	Maíz consumo diario (kg)	Maíz duración (meses)	Maíz compra (año/kg)	Frijol consumo semanal (kg)	Frijol duración (meses)	Calabaza consumo mensual (pieza)
Integrantes de familia						
Familia pequeña (2-4)	2.48	6.0	290.5	2.96	5.64	3.57
Familia mediana (5-7)	3.32	5.32	685.0	2.17	6.21	2.42
Familia grande (8-9)	4.75	6.0	1625.0	4	4	3
	$\chi^2=1.24^{**}$	$\chi^2=4.01^{**}$	$\chi^2=28.78^{**}$	$\chi^2=2.36^{**}$	$\chi^2=3.4^{**}$	$\chi^2=2.93^{**}$
Localidad						
Rancho Metate	2.5	6	950.0	2.75	4.5	3
Nejapa	2.8	5.76	389.5	2.68	6.07	3.23
Rancho Red	2.56	5.87	675	2.93	6.12	2.87
Tejas	4	6	1750	2.5	5	4
Tlahuitoltepec	2.6	6.3	270	2.65	5	3.3
	$\chi^2=4.1^{**}$	$\chi^2=6.96^{**}$	$\chi^2=1964^{**}$	$\chi^2=3.3^{**}$	$\chi^2=8.13^{**}$	$\chi^2=4.05^{**}$
Tipo de sistema						
MIAF	2.74	5.87	533.87	2.83	5.58	3.38
Tradicional	2.79	5.89	405	2.56	6	3
	$\chi^2=0.09^{NS}$	$\chi^2=0.34^{NS}$	$\chi^2=13.56^{**}$	$\chi^2=1.12^{NS}$	$\chi^2=0.02^{NS}$	$\chi^2=1.49^{NS}$

*: P ≤ 0.05, Significativo. **: P ≤ 0.01 Altamente significativo (χ^2). Tlahuitoltepec: Santa María Tlahuitoltepec

sistema milpa; la tradicional y el MIAF, con tres tipos de manejo: indígena, tradicional y convencional. Se observaron aproximadamente 31 especies de flora asociada que interactúan en los sistemas de producción. El número de especies presentes mostraron una relación significativa con el clima, el tipo de sistema de cultivo y el manejo de los sistemas. Las variables de mayor peso descriptivo fueron número de quelites, cultivos intercalados, la cantidad de maíz y frijol asociada. El consumo, la duración y compra anual de maíz, frijol y calabaza presentaron una relación significativa con respecto a la estructura familiar, los hábitos de consumo locales y el abasto de la cosecha de alimentos que se obtiene en el tipo de sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Aragón C. F., S. Taba, J. M. Hernández C., J. D. Figueroa C., V. Serrano A. y F. H. Castro G. (2006) Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Oaxaca, México. 112 p.

Ávalos-Rangel M. A., D. E. Campbell, D. Reyes-López, R. Rueda-Luna, R. Munguía-Pérez y M. Huerta-Lara (2021) The environmental-

economic performance of a poblano family milpa system: an emergy evaluation. *Sustainability* 13:9425, <https://doi.org/10.3390/su13169425>

Balcázar-Quiñones A., L. White-Olascoaga, C. Chávez-Mejía y C. Zepeda-Gómez (2020) Los quelites: riqueza de especies y conocimiento tradicional en la comunidad Otomí de San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Polibotánica* 49:219-242, <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.14>

Basurto-Peña F., D. Castro-Lara, L. M. Mera-Ovando y T. Juárez-Castro (2018) Etnobotánica de las calabazas cultivadas (*Cucurbita* spp.) en Valles Centrales de Oaxaca, México. *Agro Productividad* 8:47-53

Cadena-Iñiguez P., R. Camas-Gómez, W. López-Báez, H. C. López-Gómez y J. H. González-Cifuentes (2018) El MIAF, una alternativa viable para laderas en áreas marginadas, del sureste de México: caso de estudio en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1351-1361, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1670>

Canul K. J., P. Ramírez V., F. Castillo G. y J. L. Chávez S. (2005) Diversidad morfológica de calabaza cultivada en el centro-oriente de Yucatán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:339-349, <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.4.339>

CEDRSSA, Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2019) Producción y Consumo de Maíz y Frijol en Municipios de las Zonas de Atención Prioritarias (ZAP's), en los Estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Puebla. Cámara de Diputados. Ciudad de México. 14 p.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2016) La milpa. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. <https://www.conabio.gob.mx>

- biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa (Abril 2022).
- Cruz M. L. B., M. S. Sánchez-Cortés, C. Orantes-García, R. A. Moreno-Moreno y E. Terrón-Amigón (2021) Agrobiodiversidad de maíz y frijol en la milpa Ch'ol del ejido Amado Nervo, municipio de Yajalón, Chiapas. *Revista Etnobiología* 19:51-69.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1990) Métodos de Muestreo para las Encuestas Agrícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 325 p.
- García-Narváez A. L., S. Hernández-Delgado, J. L. Chávez-Servia y N. Mayek-Pérez (2020) Variabilidad morfológica de germoplasma de frijol cultivado en Oaxaca. *Revista Bio Ciencias* 7:e876, <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e876>
- Gutiérrez C. M. G., M. A. Magaña M., D. Zizumbo V. y H. Ballina G. (2019) Diversidad agrícola y seguridad alimentaria nutricional en dos localidades Mayas de Yucatán. *Acta Universitaria* 29:1-14, <https://doi.org/10.15174.au.2019.1996>
- Hernández R. C., H. Perales R. y D. Jaffee (2020) Emociones, semillas nativas y cambio climático: el movimiento de soberanía de las semillas en Chiapas, México. *Estudios de Cultura Maya* 56:227-259, <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2020.56.2.0009>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022) Uso de suelo y vegetación. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. <https://www.inegi.org.mx/temas/ usosuelo/> (Marzo 2022).
- Latournerie M. L., E. C. Yupit M., J. Tuxill, M. Mendoza E., L. M. Arias R., G. Castañón N. y J. L. Chávez S. (2005) Sistema tradicional de almacenamiento de semilla de frijol y calabaza en Yaxcabá, Yucatán. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:47-53, <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.1.47>
- Leyva-Trinidad D. A., A. Pérez-Vázquez, I. Bezerra C. y R. C. Formighieri G. (2020) El papel de la milpa en la seguridad alimentaria y nutricional en hogares de Ocotlán Texizapan, Veracruz. *Polibotánica* 50:279-299, <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.16>
- Linares M. E. y R. Bye (2012) La milpa: patrimonio biológico y cultural de México. In: El Frijol – Un Regalo de México al Mundo. M. Engracia (ed.). Fundación Herdez. México, D. F. pp: 69-83.
- López-Ridaura S., L. Barba-Escoto, C. A. Reyna-Ramírez, C. Sum, N. Palacios-Rojas and B. Gerard (2021) Maize intercropping in the milpa system. Diversity, extent and importance for nutritional security in the Western Highlands of Guatemala. *Scientific Reports* 11:3696, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82784-2>
- Martínez P. D. Y., J. Sánchez E., M. N. Rodríguez M. y M. Astier C. (2020) Sustentabilidad de agroecosistemas de milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca. *Revista de la Facultad de Agronomía* 119:1-16, <https://doi.org/10.24215/16699513e048>
- Mateos-Maces L., F. Castillo-González, J. L. Chávez-Servia, J. A. Estrada-Gómez y M. Livera-Muñoz (2016) Manejo y aprovechamiento de la agrobiodiversidad en el sistema milpa del sureste de México. *Acta Agronómica* 64:413-421, <https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.50984>
- Morales-Ruiz A. y E. Díaz-López (2020) Influencia de la temperatura, precipitación y radiación solar en el rendimiento de maíz en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 53:377-385, <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i3.1933>
- Novotny I. P., P. Titttonell, M. H. Fuentes-Ponce, S. López-Ridaura and W. A. H. Rossing (2021) The importance of the traditional milpa in food security and nutritional self-sufficiency in the highlands of Oaxaca, México. *PLoS ONE* 16:e0246281, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246281>
- Ortiz-Tímoteo J., O. M. Sánchez-Sánchez y J. M. Ramos-Prado (2014) Actividades productivas y manejo de la milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica* 38:173-191.
- Ruiz M. A. D., L. Jiménez S., O. L. Figueroa R. y M. Morales G. (2012) Adopción del sistema milpa intercalada con árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1605-1621, <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i8.1324>
- Sánchez M. P. y P. Hernández O. (2014) Sistema Milpa: Elemento de Identidad Campesina e Indígena. Programa de Intercambio, Dialogo y Asesoría en Agricultura Sustentable y Soberanía Alimentaria. México, D. F. 24 p.
- SAS Institute (2022) The SAS System for Windows User's Guide. Release 9.4. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 35 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2021) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Mayo 2023).
- Soleri D., F. Aragon C., H. Castro G., D. A. Cleveland and S. E. Smith (2022) The household context of in situ conservation in a center of crop diversity: self-reported practices and perceptions of maize and *Phaseolus* bean farmers in Oaxaca, Mexico. *Sustainability* 14:7148, <https://doi.org/10.3390/su14127148>
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México (2022) Portal de datos abiertos UNAM; Colecciones Universitarias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. <https://datosabiertos.unam.mx/biodiversidad/> (Mayo 2022).
- Vásquez G. A. Y., C. Chávez M., F. Herrera T. y F. Carreño M. (2018) Milpa y seguridad alimentaria: el caso de San Pedro El Alto, México. *Revista de Ciencias Sociales* 24:24-36, <https://doi.org/10.31876/rcs.v24i2.24817>
- Vidal M. V. A., F. Herrera C., B. Coutiño E., J. J. Sánchez G., J. Ron P., A. Ortega C. y M. J. Guerrero H. (2010) Identificación y localización de una especie de *Tripsacum* spp. en Nayarit México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:27-30, https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial_4.27
- Williams N. E., A. R. Carrico, I. Edirisinghe and P. A. J. Champika (2018) Assessing the impacts of agrobiodiversity maintenance on food security among farming households in Sri Lanka's dry zone. *Economic Botany* 72:196-206, <https://doi.org/10.1007/s12231-018-9418-2>