

Evaluación de sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en la Península de Yucatán

Sustainability assessment of corn production systems in the Yucatan Peninsula

Nelda Guadalupe Uzcanga-Pérez^{1*} ,
Alejandro de Jesús Cano-González² ,
Cristina Isabel Chantásig-Vaca³ 

¹Campo Experimental Mocochoá-NIFAP. Km. 25 Antigua Carretera Mérida-Motul. CP. 97454. Mocochoá, Yucatán, México.

²Centro de Investigación Regional Sureste-INIFAP. Calle 6 No. 398 x13, Av. Correa Rachó. Col. Díaz Ordaz. CP. 97130. Mérida, Yucatán, México.

³Universidad Internacional Iberoamericana, Calle 15 entre 10 y 12 Colonia IMI III. CP. 24560. San Francisco de Campeche, Campeche, México.

*Autor de correspondencia:
uzcanga.nelda@inifap.gob.mx

Artículo científico

Recibido: 31 de octubre 2021

Aceptado: 24 de mayo 2022

Como citar: Uzcanga-Pérez NG, Cano-González AJ, Chantásig-Vaca CI (2022) Evaluación de sustentabilidad de los sistemas de producción de maíz en la Península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(2): e3180. DOI: 10.19136/era.a9n2.3180

RESUMEN. El objetivo fue evaluar la sustentabilidad de los sistemas de manejo de los recursos empleados para la producción de maíz de temporal en la Península de Yucatán. Se utilizó el Marco de Evaluación de los Sistemas de Manejo con Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) en tres sistemas: milpa, convencional y mecanizado. Se definieron criterios e indicadores alineados a los atributos de sustentabilidad: productividad, estabilidad, resiliencia y confiabilidad, adaptabilidad, equidad y autodependencia, y a los puntos críticos identificados. La evaluación se llevó a cabo a través de la definición, cálculo y monitoreo de nueve indicadores: rendimiento, relación beneficio costo, índice de aptitud agrícola sustentable, índice de apropiación de tecnología agrícola, índice de capacidad productiva, nivel de seguridad alimentaria con respecto al maíz, distribución de la tierra, coeficiente de Gini y, dependencia externa en insumos. La información se obtuvo de 733 cuestionarios, talleres participativos e investigación documental, misma, que se integró con técnicas multicriterio para emitir juicios de valor sobre los sistemas de manejo. El sistema mecanizado fue más sustentable en la mayoría de los atributos con excepción de la autodependencia por los apoyos gubernamentales captados. La milpa fue más sustentable que el sistema convencional, por la distribución de la tierra e inclusive fue más sustentable que el sistema mecanizado por su baja dependencia externa en insumos. Mientras que el sistema convencional fue el menos sustentable que el sistema milpa y mecanizado.

Palabras clave: MESMIS, indicadores, niveles de desempeño, producción de temporal.

ABSTRACT. The objective of this research was to evaluate the sustainability of the resource management systems used for the production of rainfed corn in the Yucatan Peninsula. The Evaluation Framework of Management Systems with Sustainability Indicators (MESMIS) (Spanish acronym) was used in the three systems: milpa, conventional and mechanized. Criteria and indicators aligned with the attributes of sustainability were defined: productivity, stability, resilience and reliability, adaptability, equity and self-reliance, and the critical points identified. The evaluation was carried out through the definition, calculation and monitoring of nine indicators: yield, cost-benefit ratio, index of sustainable agricultural aptitude, index of appropriation of agricultural technology, index of productive capacity, level of food security with respect to corn, land distribution, Gini coefficient, and external dependence on inputs. The data was obtained from 733 questionnaires, participatory workshops and documentary research, which was integrated with multi-criteria techniques to make value judgments about the management systems. The mechanized system was more sustainable in most of the attributes with the exception of self-reliance due to government support received. The milpa was more sustainable than the conventional system, due to the distribution of the land, and it was even more sustainable than the mechanized system due to its low dependence on external inputs, while the conventional system was the least sustainable than the milpa and mechanized system.

Key words: MESMIS, indicators, performance levels, rainfed production.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista alimentario, político, económico y social, el maíz es el cultivo más importante del país (González y Alferes 2009), con un consumo per cápita de 120.5 kg al año (Ortiz-Rosales y Ramírez-Abarca 2017) de los cuales 70 kg se consumen en forma de tortilla (Salinas *et al.* 2010). En México el 80% de la superficie sembrada con maíz es de temporal y más de la mitad de la producción nacional de maíz proviene de este régimen hídrico por productores de pequeña escala, pertenecientes a los estratos rurales con mayor pobreza y, producción de autoconsumo (SAGARPA-FAO 2014).

Bajo este régimen hídrico se desarrolla la agricultura, también llamada campesina, que se caracteriza por el uso del conocimiento local y tradicional para manejar y producir alimentos en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas adversas (Castillo-Nonato y Chávez-Mejía 2013). Pese a todo, sigue siendo de relevancia, ya que los alimentos que de ella se derivan son la fuente principal de subsistencia de su población (Castillo-Nonato y Chávez-Mejía 2013) y, por lo tanto, garantizar la seguridad alimentaria de productos como el maíz que por tradición y arraigo son la base de su alimentación (SAGARPA 2013).

Lo anterior implica redoblar esfuerzos para incrementar la productividad, competitividad y rentabilidad de las unidades de producción rural de manera sustentable (SAGARPA 2013), con prácticas agrícolas resilientes que aumenten, no solo la productividad y la producción, sino también que contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas (ONU 2015). Para proponer estrategias sustentables se requiere conocer los sistemas de producción que hay en cada territorio para evaluarlos de manera tangible bajo el concepto de sustentabilidad (Mäser *et al.* 2005). Pero uno de los principales retos, es su abordaje de manera interdisciplinaria e integrada incluyendo los procesos ambientales y los fenómenos socioeconómicos (Mäser *et al.* 2000). Ante esta necesidad surge en 1997 el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), como una alternativa

viable para la evaluación de proyectos, tecnologías o agroecosistemas (Macías *et al.* 2006). Con el marco MESMIS se han evaluado en México 34 casos de estudio de los cuales 25 de ellos fueron descritos por Astier *et al.* (2012) quienes indican que estos se han realizado sobre diferentes sistemas: agroforestal, agrosilvopastoril, cultivos comerciales y básicos, pastizales, forestal y acuacultura. En el 55.9% de los estudios se utilizaron los indicadores de sustentabilidad propuestos por el MESMIS para las evaluaciones; dentro de los cuales sobresalen los sistemas de tipo campesino para la producción de diversos productos. Por ejemplo, la producción de maíz y leche (Brunett *et al.* 2005), leche a pequeña escala (Castillo *et al.* 2012), milpa tradicional y maíz en monocultivo (Sánchez y Romero 2018), sistema ovino en comunidades indígenas (Alemán *et al.* 2003), sistemas de ovinos y caprinos (Nahet 2008), sistema caprino tradicional y agrosilvopastoril (Rodríguez-Licea *et al.* 2018), y sistema de maíz campesino y sistema diversificado de cultivos (Astier *et al.* 2003). También, se ha evaluado el manejo de los cultivos tradicionales y del sistema agroindustrial (Sánchez-Morales *et al.* 2014), manejo orgánico y convencional para la producción de cacao (Priego-Castillo *et al.* 2009), o la dimensión social de comunidades indígenas (González *et al.* 2006).

Además de utilizar el MESMIS, también se han realizado innovaciones sobre diversidad cultural por medio de conceptos puente (Moya *et al.* 2003). Así como estudios con diferentes herramientas y perspectivas analíticas para comparar prácticas agrícolas sustentables entre comunidades campesinas (Ayala y Guerrero 2009) y agroecológicas (Gutiérrez *et al.* 2011). Pero son escasos los estudios que utilizan el MESMIS para realizar comparaciones de un mismo sistema a través del tiempo (longitudinales). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar los diferentes sistemas de producción de maíz de temporal en la península de Yucatán.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio Península de Yucatán se ubica en la región sur-sureste de México, de mayor

rezago productivo y económico (SEDATU 2018), donde la producción de maíz es el medio de vida de más de 50 000 familias (Dzib-Aguilar *et al.* 2016, Uzcanga *et al.* 2020). Las características ecológicas la describen como tropical subhúmeda con selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia y selva espinosa; con elevación de 0 a 300 msnm y afloramientos calizos con paisaje kárstico (Aguilar *et al.* 2003).

Para la evaluación de sustentabilidad se utilizó el marco MESMIS (Masera *et al.* 2000b) que propone un esquema que facilita las evaluaciones de los sistemas de manejo de tipo campesino y se adapta a diversas condiciones de capacidades técnicas, recursos económicos y condiciones biofísicas. Además, se caracteriza por ser sistemático, participativo, multiescalar, flexible y con ventaja en comparación con otros métodos de evaluación de la sustentabilidad (Galván-Miyoshi *et al.* 2008).

Se utilizó un diseño de investigación transversal descriptiva, para caracterizar, medir y monitorear los indicadores, y tener un panorama del estado de los sistemas de producción de maíz de temporal, tanto los de referencia como el alternativo, para realizar una evaluación comparativa de la sustentabilidad de los sistemas en un determinado momento. Los sistemas evaluados fueron la milpa, el sistema convencional (como sistemas de referencia o predominantes en la región) y el sistema mecanizado (como el sistema alternativo o con innovaciones tecnológicas o sociales). Se describieron las características tecnológicas, manejo, socioeconómicas y culturales a través de la aplicación de 733 cuestionarios a productores de maíz en las principales zonas productoras, además de dos talleres participativos realizados en el municipio de Yaxcabá, en las comunidades de Tahtzibichén (13/12/2019) y Canakom (21/02/2020) con 75 y 30 productores, respectivamente.

Los puntos críticos de la producción de maíz se identificaron con una investigación documental de trabajos realizados en la zona de estudio (Uzcanga *et al.* 2012), además de la información obtenida en los talleres con técnicas de diagnóstico participativo para la priorización de problemas (Uzcanga *et al.* 2021).

Para cada uno de los atributos de sustentabilidad, se definieron los puntos críticos, criterios de diagnóstico y se propusieron nueve indicadores (Tabla 1), que a continuación se describen:

Productividad

Se plantearon dos indicadores, uno ambiental (rendimiento) estimado a través de la encuesta y/o en campo y otro de índole económica (relación beneficio costo ($R_{b/c}$)) que se utilizó para conocer los beneficios obtenidos por cada peso invertido a precios reales en la producción de maíz (Uzcanga *et al.* 2015).

Estabilidad, resiliencia y confiabilidad

Para el monitoreo de este atributo se generó un indicador sintético el índice de aptitud agrícola sustentable (IAAS) que se generó a partir de tres funciones de pedotransferencia (FPT) (Aguilar *et al.* 2011, Aguilar y Bautista 2011), que se utilizaron como indicadores ambientales de fertilidad del suelo de uso agrícola para identificar posibles restricciones o degradación por uso y manejo del suelo. Los valores de las FPT se sustituyeron en la ecuación calibrada para los suelos kársticos de la Península de Yucatán (Aguilar y Bautista 2011) que posteriormente se transformaron a porcentajes asignando ponderaciones iguales para cada variable para generar tres categorías según su aptitud (Aguilar *et al.* 2013).

Adaptabilidad

Este atributo se evaluó a través de dos indicadores sintéticos, el índice de apropiación de tecnología agrícola (IATA) y el índice de capacidad productiva (ICAP) a escala municipal. El IATA se adaptó de Damían *et al.* (2007) para las condiciones de temporal de la Península de Yucatán, para contrastar las recomendaciones tecnológicas del cultivo (Aguilar y Torres 2008, Medina y Rosado 2015) con las actividades que realizó el productor en su parcela, tomando 100 como el valor máximo a obtener de la sumatoria de todos los componentes tecnológicos para elaborar una tipología del productor por categorías. El segundo indicador sintético ICAP se utilizó para tipificar los municipios del área de estudio con

Tabla 1. Lista de atributos de la sustentabilidad, puntos críticos, criterio de diagnóstico, indicadores área de sustentabilidad y técnica de recolección de datos.

Atributo	Punto crítico	Criterio de diagnóstico	Indicador	Área	Método
Productividad	Baja productividad, bajos precios del maíz, alto costo de los insumos (diésel, agroquímicos, semillas).	Eficiencia	1) Rendimiento (kg/ha)	A	a y c
			2) Relación Beneficio/Costo.	E	a
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	Insuficiente reintegro de nutrientes al suelo	Fragilidad del sistema	3) Índice de Aptitud Agrícola Sustentable (IAAS)	A	c y d
Adaptabilidad	Baja adopción de tecnologías agrícolas, falta de capacitación de los productores Falta de infraestructura de riego, difícil acceso a las parcelas lo que dificulta el acarreo de la producción	Capacidad de adopción de innovaciones tecnológicas Recursos Municipales para el desarrollo productivo	4) Índice de Apropiación de Tecnología Agrícola (IATA)	S	a y b
			5) Índice de Capacidad Productividad (ICAP)	E	a, b, c y d
Equidad	Bajos ingresos de los productores, baja disponibilidad de semilla mejorada de acuerdo con la región.	Distribución de los costos y beneficios	6) Nivel de seguridad alimentaria con respecto al maíz	S	a
			7) Distribución de la tierra	S	a y d
			8) Índice de Gini	E	a
Autodependencia o autogestión	Alta dependencia de los apoyos externos, débil organización de los productores	Autosuficiencia	9) Dependencia externa de insumos	A	a

A = Ambiental, E = Económica, S = Social

(a) = encuesta, (b) = entrevista, (c) = medición directa en campo, (d) = revisión bibliográfica.

respecto a su capacidad productiva para el cultivo de maíz, este indicador se construyó a partir de cinco indicadores parciales: producción, ocupación y empleo, capacidad de desarrollo del productor, infraestructura y equipo y desarrollo tecnológico.

Equidad

Este atributo se evaluó a través de tres indicadores: nivel de seguridad alimentaria con respecto al maíz, que se obtuvo con el valor del cociente entre cantidad de grano producido y consumo total en toneladas, la distribución de la tierra (superficie sembrada por productor en hectáreas) e índice de Gini estimado a través de la valoración de la producción a precios de mercado para conocer la distribución del ingreso de los productores por el cultivo de maíz (Ruiz-Ramírez *et al.* 2012).

Autodependencia

Este atributo se evaluó a través del número de insumos subsidiados para la producción de maíz. En la Tabla 2, se expone para cada atributo de sustentabilidad, los indicadores utilizados, la escala del valor del dato, el método de extracción, cambio de

seado y valores de referencia. Para la agregación y comparación de los resultados se calcularon los niveles de desempeño de cada indicador con los diferentes métodos propuestos por Galván-Miyoshi (2008) como distancia del óptimo, combinaciones pareadas e intervalo de referencia lo que permitió transformar el valor de los indicadores a una escala común (porcentaje) y presentarlos en una gráfica de tipo AMIBA.

RESULTADOS

Se identificaron diferencias entre sistemas sobre las especies utilizadas, variedades de maíz, tecnología aplicada y manejo del cultivo (Tabla 3). La milpa es un sistema de policultivo, basado principalmente en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en asociación con frijol (*Phaseolus* spp.) y calabaza (*Cucurbita* spp.), se observó que la apicultura es una actividad importante dentro del sistema, ya que 87.5% de los productores son apicultores. Mientras que en el sistema convencional y mecanizados, se producen monocultivos con orientación al mercado, con siembra de semillas híbridas. En el sistema mecanizado

Tabla 2. Lista de indicadores, método de extracción, cambio deseado y valores de referencia por atributo de sustentabilidad.

Atributo	Indicador	Escala	Método	Cambio	Valores de referencia
Productividad	1) Rendimiento	De razón	Distancia del óptimo	Maximizar	Milpa (2.0 t/ha)a, Convencional (3.9 t/ha)b, Mecanizado (5.t/ha)c
	2) Beneficio-costo			Maximizar	
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	3) Índice de Aptitud Agrícola Sustentable (IAAS)	Ordinal	Intervalo de referencia	Maximizar	(0.37-51.5)
Adaptabilidad	4) Índice de Apropiación de Tecnología Agrícola (IATA)	Ordinal	Intervalo de referencia	Maximizar	(0-100)
	5) Índice de Capacidad Productiva (ICAP)			Maximizar	(-1.7-81.6)
Equidad	6) Nivel de seguridad alimentaria con respecto al maíz	Ordinal	Intervalo de referencia	Maximizar	(0.41-35 t)
	7) Distribución de la tierra			Maximizar	Milpa (4 ha) a, Convencionales (4 ha) b, Mecanizados (18 ha) c
	8) Coeficiente de Gini			Minimizar	(0-100)
Autodependencia (Autogestión)	9) Dependencia externa en insumos	Ordinal	Intervalo de referencia	Minimizar	(0-6)

Se tomó como valor óptimo, el valor máximo para rendimiento y superficie estimado por: a) Moya *et al.* (2003), b) Uzcanga *et al.* (2015) y c) Pat *et al.* (2013).

se realizan las actividades como la preparación del terreno, siembra y cosecha, con maquinaria.

Entre las principales características socioeconómicas y culturales (Tabla 4), destacan las diferencias de la población. Mientras que en el sistema mecanizado tiene presencia de población menonita, en los sistemas de referencia (milpa y convencional) la población es maya y mestizos. Los productores de la región son de mediana edad, con estudios de nivel primaria y experimentados en el cultivo de maíz. Mientras que la producción de los sistemas de referencia se orienta a satisfacer las necesidades de consumo familiar, los excedentes del sistema convencional y la producción del sistema mecanizado se orientan al mercado.

Productividad

Se obtuvieron rendimientos medios de 0.5 t ha¹ (milpa), 2.6 t ha¹ (convencional) y 3.9 t ha¹ (mecanizado). Con respecto al beneficio costo esta relación fue más favorable para el sistema mecanizado ($R_{b/c} = 2.3$), lo que indica que por cada peso invertido en la producción, se obtiene \$1.3 de beneficio. En el sistema convencional esta fue $R_{b/c} = 1.7$ con \$0.70 de rendimientos y, en el sistema milpa

a pesar de solo valorar la producción de maíz para el cálculo del indicador, la $R_{b/c} = 1.5$, lo que implica que los productores recuperaron el dinero invertido en la producción y obtuvieron \$0.50 por cada peso invertido.

Estabilidad, resiliencia y confiabilidad

Del total de 733 parcelas muestreadas 15.4% fueron aptas, 79.7% moderadas y 4.9% marginales. Particularmente, las parcelas monitoreadas del sistema milpa todas se clasificaron con una aptitud moderada y con media de rendimiento de 0.7 t ha¹. En el sistema convencional el 87.1% cayó dentro de esta categoría, sin embargo; los rendimientos fueron de 2.6 t ha¹. En el sistema mecanizado 75% de las parcelas se ubicó dentro de esta categoría con medias de rendimiento de 3.8 t ha¹. Dentro de la clase apta del IAAS se estimaron también los rendimientos más altos, aunque esta clase solo se encontró en el 1.8% de las parcelas del sistema convencional con 4.6 t ha¹ y en el 21.5% de las parcelas del sistema mecanizado con 4.5 t ha¹.

Adaptabilidad

El nivel de apropiación de tecnología agrí-

Tabla 3. Características tecnológicas y de manejo de los sistemas de producción de maíz de temporal en la Península de Yucatán

Determinantes del Agroecosistema	Sistema de manejo de referencia		Sistema de manejo Alternativo
	Milpa	Convencional	Mecanizados
Tipos de especies	Maíz (<i>Zea mays</i> L) en alternancia con: frijol (<i>Phaseolus</i> spp), calabaza (<i>Curcubita</i> spp).	Maíz (<i>Zea Mays</i> L)	Maíz (<i>Zea Mays</i>)
Variedades manejadas	73% Criollos y 27% Criollos mejorados	71% Criollos, 14% Híbridos, 7% Ciclo anterior, 7% variedades y 1% Criollo mejorado	68% Híbridos, 15% Criollos, 10% variedades, 7% del ciclo anterior.
Sistema de Cultivo	Policultivo	Monocultivo	Monocultivo
Tecnología aplicada	Milpa-roza	Labranza mínima	Mecanizado
Intensidad del uso del espacio	Se cultiva de dos a cinco años.	Cultivo continuo	Cultivo continuo y en algunos ciclos se rota con soya
Instrumentos	Espeque, coa para deshierbar, machete	Espeque, coa para deshierbar, machete	59% Rastra semi-pesada, 67% Rastra agrícola, 59% sembradora, 34% fumiga con tractor, 52% cosechadora
Fertilización (kg/ha)	El 78% aplicó fertilizante. La mayoría aplica una sola dosis de 16 kg (Nitrógeno) + 35kg (Fosfato Diamónico) a los 30 días de haber sembrado	49% aplicó la primera dosis de fertilizante de 20kg (Nitrógeno) + 38 kg (Fosfato Diamónico). La mayoría lo aplicó a los 30 días de haber sembrado. Menos del 7% realizó una segunda aplicación.	El 92% aplicó la primera dosis de fertilizante de 29 kg (Nitrógeno)+ 70 kg (Fosfato Diamónico). La mayoría lo aplicó junto con la siembra. Menos del 14% realiza una segunda aplicación.
Labores	La siembra se realizó con espeque a una hilera, deshierbe y dosis bajas de herbicida.	La siembra se realizó con espeque a una hilera, deshierbe y dosis bajas de herbicida.	El 59% de los productores siembran con maquinaria agrícola y el 34% utilizó tractor para las aplicaciones de herbicida.

Espeque (xú'ul) palo puntiagudo para hacer hoyos y depositar la semilla. Las semillas criollas son de las Raza Tuxpeño (x-nuuk nal) de ciclo largo, Raza Dzit Bacal (ts'it bakal) de ciclo intermedio y variedades precoces Nal-Tel (xmejen-nal). Semillas mejoradas: H-563, H-520 y VS- 536, VS-536, V-537C, V-556VA. Híbridos: P-30F32, Dekalb (390, 393, 7088), H-431, H-513, H-515, H-516, H-519C, H-563, H-564C, H-443A. Híbridos de la empresa Cristiani Burkard.

cola de los productores fue 37.9% medio, 36% bajo, 23.5% alto y 2.6% muy bajo (Figura 1). Se determinó que el 33.3% de los productores del sistema mecanizado fueron los que utilizaron mayor tecnología y la media de rendimiento fue de 4.2 t ha¹. No obstante, para los tres sistemas se identificaron componentes como la fertilización donde las dosis fueron inadecuadas, mientras que en milpa solo el 50% de los productores aplicó lo recomendado, 30 kg de Nitrógeno y 80 kg de Fosfato Diamónico, los productores de los sistemas mecanizado y convencional aplicaron dosis bajas de Nitrógeno, aproximadamente 30% menos que 110 kg, pero aplicaron dosis por encima de lo recomendado de 46 kg de Fosfato Diamónico. Si bien el clima incide en la pro-

ductividad del cultivo, sobre todo en las regiones de temporal, existen otros factores como la capacidad de compra de los productores para adquirir los insumos, la cual en los sistemas de referencia es limitada.

Con relación al ICAP el 52.9% de las parcelas de los productores están ubicadas en municipios con condiciones moderadas para el incremento de la producción, 28.9% en alta y 18.1% en baja (Figura 2). Particularmente, los municipios asociados con el sistema milpa presentaron baja capacidad productiva y, por lo tanto, las innovaciones tecnológicas deberán ser de bajo costo y considerar las limitaciones de infraestructura. En el sistema convencional predominó con 83.4% moderado, 9.8% bajo y 6.7% alto, lo que indica que la mayoría de los productores no son efi-

Tabla 4. Características socioeconómicas y culturales de los sistemas de producción de maíz de temporal en la Península de Yucatán

Determinantes del Agroecosistema	Sistema de manejo de referencia		Sistema de manejo alternativo
	Milpa	Convencional	Mecanizados
Características de los productores	Los productores tienen en promedio 50 años de edad, con cinco de escolaridad y 29 años de experiencia en el cultivo de Maíz.		
Objetivo de la producción	100% de subsistencia	75% de subsistencia, 22% de ingresos 1% ambos.	74% de ingreso, 18% subsistencia y 7% ambos.
Características de la organización para la producción	97% Ejidal, 3% Privada o particular	58% Ejidal, 23% rentada 17% privada o particular, 2% prestada.	74% Ejidal, 22% Privada o particular, 4% rentada.
Tipo de Unidad	Familiar	Familiar	Familiar + Contratos jornales.
Escala de producción (ha)	2.6	2.5	12
Comercialización / almacenamiento	En la mayoría de los casos se dobla el maíz y se deja en la parcela para cosecharlo o según las necesidades del hogar o se almacena en la troje.	56% intermediarios, 33% compradores del pueblo, 8% molino, 3% silo o centro de acopio.	56% intermediarios, 32% silo o centro de acopio, 6% compradores del pueblo, 4% molino, 2% industria.
Rendimientos (t/ha)	0.5	2.6	3.9
Predominación de la población	Indígena maya y mestizos	Indígena maya y mestizos	Indígena maya, mestizo y menonita.

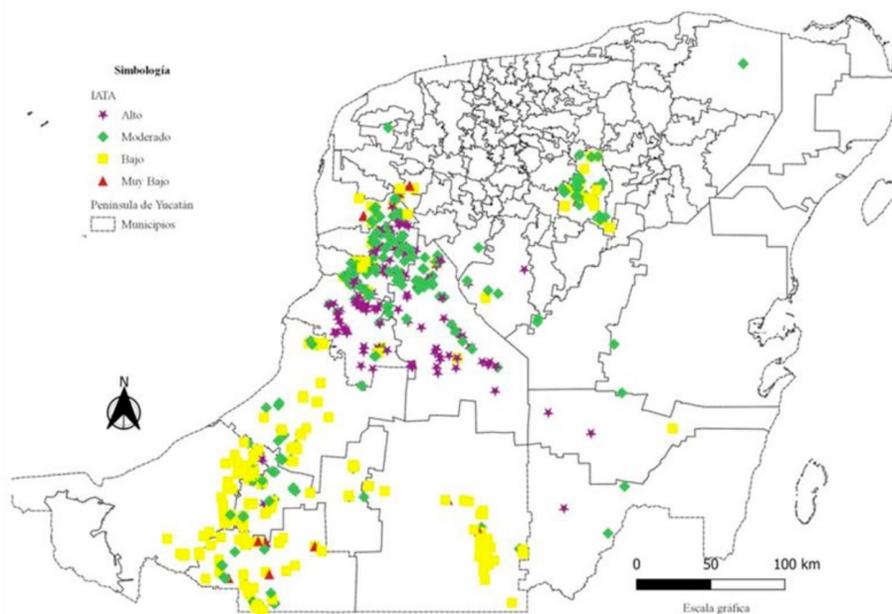


Figura 1. Índice de Apropiación de Tecnología Agrícola por sistema de producción. Muy baja (0-20), baja (21-40), media (41-60), alta (61-80) y muy alta (mayor de 80).

cientes con los recursos disponibles en el territorio. En los mecanizados 49.3% de los municipios tuvieron una capacidad moderada, 43.6% bajo y 39.3% alto.

Equidad

Se encontró que el sistema convencional y el mecanizado producen suficiente maíz para el auto abasto, estimado en 2 t, ya que producen durante

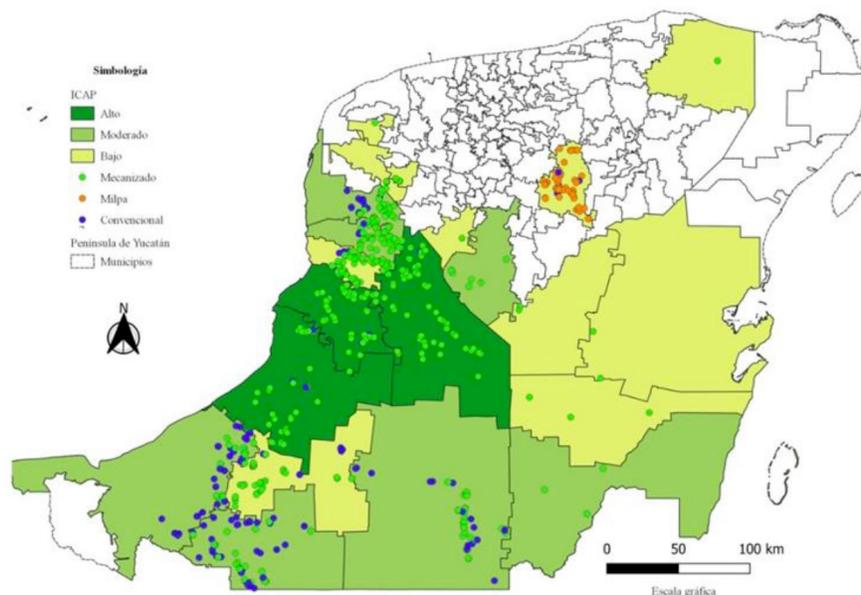


Figura 2. Índice de Capacidad Productiva y sistema de producción. Bajo (-1.7 a 26), 2) Moderado (27 a 53.8) y 3) Alto (54 a 81.6).

el ciclo 6.7 y 45 t, respectivamente; y la relación de producción-consumo fue 3.4 y 27 t. No obstante, en el sistema milpa esta relación fue menor a la unidad y, por lo tanto, la producción obtenida no es suficiente para satisfacer las necesidades del consumo familiar. Con respecto a la distribución de la tierra y considerando los parámetros de la Tabla 2, se estimó una media de superficie de 2.6 ha (milpa), 2.5 ha (convencional) y 12.4 ha (mecanizado). En los tres sistemas evaluados prevaleció del sistema ejidal sobre la tenencia de la tierra, pero se identificó la renta de tierras para la siembra de maíz en mecanizado y convencional en un 17.1 y 3.2%, respectivamente.

El índice de Gini mostró la distribución del ingreso por la venta de la producción de maíz a precios de mercado, los cuales fueron bajos con valores de 19.8% para la milpa, 17.1% para el sistema convencional y 13.4% para el mecanizado. El 60% de los productores de milpa concentran el 30% del ingreso total acumulado con moda de \$1 564 durante el ciclo. En el sistema convencional la situación fue más favorable ya que el 60% de los productores concentró el 40% del ingreso acumulado con una moda \$8 591. En contraste la moda del ingreso para el sistema mecanizado fue de \$15 523, de los cuales el

20% perciben ingresos inferiores a \$9 505.

Autodependencia

El sistema más dependiente de los subsidios agrícolas fue el sistema mecanizado quienes acaparan el 81.5% del total los insumos, mermando su capacidad de autodependencia mientras que el sistema milpa fue el menos dependiente de los tres. Destacan los subsidios en especie como mochilas para fumigar e insumos agrícolas. Los niveles de desempeño de cada uno de los indicadores se presentan en la Figura 3.

DISCUSIÓN

Productividad

Los puntos críticos de los sistemas coinciden con las problemáticas centrales del sector sobre la baja productividad (SAGARPA-FAO 2014) y la baja remuneración. Al respecto, Rodríguez-Canto *et al.* (2016) mencionan que el 50% de los hogares milperos de la Península de Yucatán, presentan pobreza por ingreso, lo que implica que no cuentan con un ingreso suficiente para alcanzar el bienestar mínimo y, por lo tanto, se ven en la necesidad



Figura 3. AMIBA para la comparación de los sistemas de producción de maíz de temporal en la Península de Yucatán.

de depender de empleos de baja calificación y remuneración que poco contribuyen en superar su inseguridad alimentaria (Pat *et al.* 2010, Rosales y Rubio 2010). Aunque no hubo pérdidas económicas en los sistemas evaluados, los beneficios varían muy poco con los años, ya que en 1998, Cuanalo-de la Cerda y Uicab-Covoh (2006), estimaron una relación beneficio costo de 1.47, pero además del valor del maíz, consideraron la producción de las leguminosas. Inclusive hay otros autores como Ramírez *et al.* (2018) quienes aseguran que, si se contabilizara todos los costos de la producción, incluyendo el de la tierra, solo se obtendrían pérdidas. Mientras que Pat *et al.* (2008) estimaron una relación beneficio costo con pérdidas por cada peso invertido. Pero por el contrario también se afirma que las formas de manejo (agroecológico y mixto) aunque menos productivas son las más sostenibles a largo plazo en comparación con el manejo convencional (Martínez *et al.* 2020).

Estabilidad, resiliencia y confiabilidad

La mayoría de los suelos de las parcelas de los productores presentaron un IAAS moderado. Este indicador permite monitorear procesos físicos del suelo como la capacidad de amortiguar los agroquímicos

utilizados en suelos de uso agrícola y el nivel de fertilidad (Bautista-Zúñiga *et al.* 1995). En este sentido, Cother (2020) afirma que la fertilidad de los suelos determina el contenido de nutrientes de los alimentos y que el uso de fertilizante químico modifica su valor nutricional. Además, Aguilar *et al.* (2013) indican que esta información permite diseñar una adecuada disposición de residuos orgánicos a nivel parcelario y extrapolar la información a una escala regional. Sobre todo, porque el abastecimiento natural del nitrógeno proviene de la materia orgánica del suelo y es el que más escasea para atender las necesidades de los cultivos (Pineda 2020).

Adaptabilidad

El nivel de desempeño de los sistemas sobre la adaptabilidad indica, que aún prevalece la insuficiente incorporación del conocimiento tecnológico disponible y, por el otro, la baja inversión productiva e innovación en los sistemas de producción. En este sentido Damián *et al.* (2007) y Sánchez-toledano *et al.* (2017) señalan que existen factores que limitan la correcta aplicación de la nueva tecnología e incluso la adopción de todo el paquete tecnológico. Por otra parte, la actividad petrolera de Campeche y la actividad turística en Quintana Roo son indicadores de

movimientos poblacionales en la región (Mier y Terán 2004), lo que puede afectar la oferta de mano de obra en estas dos entidades.

Equidad

En el sistema convencional y el mecanizado producen la cantidad suficiente de maíz para el autoabasto, lo cual coincide con Pat *et al.* (2010), quienes señalan que a mayor escala de la producción de maíz no solo se genera mayor ingreso, sino que también hay mayor disponibilidad de maíz para consumo familiar. Aunque este no fue el caso para los productores del sistema milpa quienes no son autosuficientes en maíz, lo cual coincide con lo reportado por Rodríguez-Canto *et al.* (2016) quienes señalan que los productores de comunidades rurales no alcanzan a producir su autoconsumo, por lo que recurren a la compra de maíz en más de un tercio del año.

Autodependencia

Sobre los insumos utilizados, se reporta que estos representan un 63.6% del costo total de la producción de maíz en la región (Pat *et al.* 2013). Sobre lo mismo Guzmán *et al.* (2014) aseguran, que los fertilizantes generan el mayor costo dentro de los insumos comerciales, lo cual equivale al 26.4% del costo total de la producción de maíz. En tanto que Martínez *et al.* (2020) reportan que el gasto de fertilizantes y semillas representa el 38.8 y 15% respectivamente, del costo de producción en un manejo convencional de elevado uso de insumos. Sin embargo, en la práctica los programas que subsidian estos insumos han estado sesgados hacia los productores de maíz de mayor extensión y calidad de tierra como los mecanizados, propiciando mayor desigualdad socioeconómica (Pat-Fernández *et al.* 2011) y dependencia externa a estos insumos, lo que disminuye la capacidad de autogestión. En los

sistemas como la milpa el uso de insumos externos es limitado, como lo señala Gomero (2001), quien indica que este problema está relacionado con la poca capacidad local para aprovechar los recursos disponibles.

CONCLUSIONES

En la Península de Yucatán, coexisten diferentes sistemas de producción de maíz de temporal, que están relacionados con la aptitud de los suelos. Cada uno con características tecnológicas y de manejo distintivas, así como factores ambientales, infraestructura agrícola, aspectos sociales y culturales. El marco MESMIS permitió evaluar la sustentabilidad de estos tres sistemas, presentando el sistema mecanizado la mayor sustentabilidad en la mayoría de los atributos, con excepción de la autodependencia. El sistema milpa fue más sustentable con respecto a los otros dos sistemas en los atributos de equidad y autogestión, mientras que el sistema convencional fue el menos sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el financiamiento del proyecto fiscal "Manejo Integral de la Heterogeneidad de los Suelos Mecanizables de la Península de Yucatán" a la Secretaria de Desarrollo Rural del Gobierno de Campeche por el financiamiento del proyecto "Estimación de maíz en el estado de Campeche ciclo P-V 2014" y The Nature Conservancy por el financiamiento del Proyecto "Definición de Metodología para el mapa de Zonificación Productiva Sustentable" de donde se derivó la siguiente publicación.

LITERATURA CITADA

Aguilar G, Torres H (2008) Producción de maíz en el sistema Roza-Tumba y Quema de la Península de Yucatán. 1ª. Edición. INIFAP. Yucatán, México. 28p.

- Aguilar J, Illsley C, Marielle C (2003) Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. En: Esteva, G, Marielle C (eds) Sin maíz no hay país. CONACULTA. México. pp: 83-122.
- Aguilar Y, Bautista F (2011) Extrapolando la aptitud de los suelos como reactores naturales, usando un mapa de suelo existente: aplicación de funciones de pedotransferencia, integración espacial y procedimientos de validación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2: 221-232.
- Aguilar Y, Bautista F, Díaz-Pereira E (2011) Los suelos como reactores naturales para el tratamiento de agua residual porcina. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2: 199-210.
- Aguilar Y, Bautista F, Mendoza M, Delgado C (2013) Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos kársticos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16: 243-263.
- Alemán T, Nahed J, López J (2003) Sostenibilidad y agricultura campesina: la producción agrosilvopastoril en Los Altos de Chiapas, México. *LEISA Revista de Agroecología* 19: 18- 23.
- Astier M, García L, Galván Y, González C, Masera O (2012) Accessing the sustainability of small Farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). *Ecology and Society* 3: 1-13.
- Astier M, Pérez E, Ortiz T, Mota F (2003) Sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz después de cinco años: el segundo ciclo de evaluación MESMIS. *LEISA Revista de Agroecología* 19: 39-46.
- Ayala D, Guerrero H (2009) Análisis comparativo de prácticas agrícolas sustentables en comunidades campesinas e indígenas de la Meseta Purépecha México. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 13: 29-39.
- Bautista-Zúñiga F, Luna-Pabello V M, Durán-de-Bazúa C (1995) El suelo, un reactor químico muy interesante. *Educación Química* 6: 226-230.
- Brunett L, González-Esquivel C, García L A (2005) Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development* 17: 1-10.
- Castillo D, Tapia M, Brunett L, Márquez O, Terán O, Espinosa E (2012) Evaluación de la sustentabilidad social, económica y productiva de dos agroecosistemas de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Amecameca, México. *Revista científica UDO Agrícola* 3: 690-704.
- Castillo-Nonato J, Chávez-Mejía C (2013) Caracterización campesina del manejo y uso de la diversidad de maíces en San Felipe del Progreso, Estado de México. *Revista de Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 10: 23-38.
- Cother H (2020) Transiciones agroecológicas para recuperar la calidad de los suelos. *LEISA Revista de Agroecología* 36: 5-6.
- Cuanalo-de la Cerda H, Uicab-Covoh R (2006) Resultados de investigación participativa en la milpa sin quema. *Terra Latinoamericana* 24: 401-408.
- Damián M, Ramírez B, Parra F, Paredes J, Gil A, Cruz A, López J (2007) Apropiación de tecnología por productores de maíz en el Estado de Tlaxcala, México. *Agricultura Técnica en México* 33: 163-173.
- Dzib-Aguilar L, Ortega-Paczka R, Segura-Correa J (2016) Conservación *in situ* y mejoramiento participativo de maíces criollos en la Península de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 19: 51-59.
- Galván-Miyoshi Y, Masera O, López-Ridaaura S (2008) Las evaluaciones de sustentabilidad. En: Astier M, Masera O, Galván-Miyoshi Y (coors) Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. 1^a

- Edición. SEAE, CIGA, ECOSUR, CIEco, UNAM/GIRA, Mundiprensa, Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable. México. pp: 41- 57.
- Gomero L (2001) Hacia la sostenibilidad de los monocultivos. *Boletín de ILEIA* 2001: 4-5.
- González C, Ríos H, Brunett L, Zamorano S, Villa C (2006) ¿Es posible evaluar la dimensión social de la sustentabilidad? Aplicación de una metodología en dos comunidades campesinas del valle de Toluca, México. *Revista de Ciencias Sociales* 13: 107-139.
- González E A, Alferes V M (2009) Competitividad y ventajas comparativas de la producción de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 381-396.
- Gutiérrez J, Aguilera L, González E, Juan J (2011) Evaluación preliminar de la sustentabilidad de una propuesta agroecológica, en el sub trópico del Altiplano Central de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 567-580.
- Guzmán S E, De la Garza C M, González F J P, Hernández M J (2014) Análisis de los costos de producción de maíz en la Región del Bajío de Guanajuato. *Análisis Económico* 29: 145-156.
- Macías H, Téllez O, Dávila P, Casas A (2006) Estudios de sustentabilidad. *Revistas Ciencias* 1: 20-30.
- Martínez AFB, Guevara HF, La OAM, Rodríguez LLA, Pinto RR, Aguilar JCE (2020) Caracterización de productores de maíz e indicadores de sustentabilidad en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 1031-1042.
- Masera O R, Astier M, López-Ridaura S (2000) Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El Marco MESMIS. 1ª Edición. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A.C. Mundiprensa. México. 103p.
- Masera O, Astier M, López-Ridaura S (2005) El marco de evaluación MESMIS. En: Mansera OR, López-Ridaura S (eds) *Sustentabilidad y sistemas campesinos*. GIRA. México. pp: 13-44.
- Masera O, López-Ridaura S (2000a) *Sustentabilidad y sistemas Campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México rural*. 1ª Edición. Programa Universitario de Medio Ambiente: Mundi-prensa. México. 346p.
- Medina J, Rosado A (2015) Maíz de temporal. En: SAGARPA-SENASICA-INIFAP (eds) *Agenda Técnica Agrícola de Campeche*. SAGARPA-SENASICA-INIFAP. México. pp: 87-93.
- Mier y Terán M (2004) Pobreza y transiciones familiares a la vida adulta en las localidades rurales de la Península de Yucatán. *Población y salud en Mesoamérica* 2: 1-35.
- Moya X, Caamal A, Ku B, Chan E, Armendáriz I, Flores J, Moguel J, Noh M, Rosales M, Xool J (2003) La agricultura campesina de los mayas en Yucatán. *LEISA Revista de Agroecología* 19: 7-17.
- Nahed T J (2008) Aspectos metodológicos en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas agrosilvopastoriles. *Avances en Investigación Agropecuaria* 12: 3-20.
- ONU (2015) *Transforming our world: the 2030 Agenda for sustainable development*. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Fecha de consulta: 30 de octubre 2021.
- Ortiz-Rosales M A, Ramírez-Abarca O (2017) Proveedores e Industrias de destino de maíz en México. *Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 4: 61-82.
- Pat L, Nahed J, Parra M, García L, Nazar A, Bello E (2010) Impacto de las estrategias de ingresos sobre la seguridad alimentaria en comunidades rurales del norte de Campeche. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 60: 48-55.
- Pat L, Nahed J, Parra M, Nazar D, García L, Bello B, Herrera O (2008) Modos de vida y seguridad alimentaria de los mayas de Campeche. En: *Memoria concurso REDSAN-FAO*. ECOSUR. México. pp: 128-168.

- Pat V, Caamal I, Ávila J, Hernández J (2013) Análisis de la competitividad del maíz en la región de los campos menonitas de Hecelchakán Campeche. *Revista Textual* 2013: 53-66.
- Pat-Fernández L, Nahed-Toral J, Parra-Vázquez M R, García-Barrios L, Nazar-Beutelspacher A, Bello-Baltazar E (2011) Influencia de las estrategias de ingresos y las políticas públicas sobre la seguridad alimentaria en comunidades rurales mayas del norte de Campeche, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 77-89.
- Pineda R (2020) Cultivos en suelos sostenibles. *LEISA Revista de Agroecología* 36: 7.
- Priego-Castillo GA, Galmiche-Tejeda A, Castelán-Estrada M, Ruiz-Rosado O, Ortiz-Ceballos AL (2009) Evaluación de la sustentabilidad de dos sistemas de producción de cacao: Estudios de caso en unidades de producción rural en Comalcalco, Tabasco. *Revista Universidad y Ciencia* 25: 39-57.
- Ramírez O, Espinoza E, González M, Hernández J (2018) Situación económica del maíz en la región II Valles Zoques, Chiapas: Jiquipilas y Ocozocoautla. *Revista Mexicana de Agronegocios* 43: 31-42.
- Rodríguez-Canto A, González-Moctezuma P, Flores-Torres J, Nava-Montero R, Dzib-Aguilar L A, Pérez- Pérez JR, Thüerbeck N, González-Iturbe JA (2016) Milpas de las comunidades mayas y dinámica de uso del suelo en la Península de Yucatán. 1ª Edición. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) Proyecto México para la Reducción de Emisiones por deforestación y degradación (M-REDD+), The Nature Conservancy, Rainforest Alliance, Woods Hole Research Center, Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable AC. Mérida, Yucatán 436p.
- Rodríguez-Licea G, Jiménez-Badillo M R, Silva-Salas M A, Carrera-Chávez B, Tapia-Rodríguez M (2018) La caprinocultura de pequeña escala en el semidesierto de Querétaro: Un análisis sobre ecodesarrollo territorial agrosilvopastoril. *Avances en Investigación Agropecuaria* 22: 1-3.
- Rosales M, Rubio A (2010) Apicultura y organizaciones de apicultores entre los mayas de Yucatán. *Estudios de Cultura Maya* 35: 163-183.
- Ruíz-Ramírez J, Pensado L, Hernández-Rodríguez G (2012) Desigualdad salarial de los economistas de la universidad Veracruzana. *Observatorio de la Economía Latinoamericana* 162: 1-23.
- SAGARPA (2013) Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Diario Oficial de la Federación. 112p.
- SAGARPA-FAO (2014) Diagnóstico del sector rural y pesquero en México. 1ª Edición. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación SAGARPA-FAO. México. 68p.
- Salinas MY, Gómez MN, Cervantes MJ, Sierra MM, Palafox CA, Betanzos MB, Coutiño EB (2010) Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 509-523.
- Sánchez P, Romero O (2018) Evaluación de la sustentabilidad del sistema milpa en el estado de Tlaxcala, México. *Revista de El Colegio de San Luis* 8: 107-134.
- Sánchez-Morales P, Ocampo-Fletes I, Parra-Inzunza F, Sánchez-Escudero J, María-Ramírez A, Argumedo-Macías A (2014) Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología* 9: 111-122.
- Sánchez-Toledano BI, Zegbe JA, Espinoza-Arellano JJ, Rumayor-Rodríguez AF (2017) Adopción tecnológica de surcos-doble hilera con piletaje en cebada maltera. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20: 25-33.

- SEDATU (2018) Programa nacional de desarrollo del sur-sureste. https://www.senado.gob.mx/comisiones/desarrollo_regional/docs/ProgRegDesarr_SurSureste2014_2018.pdf. Fecha de consulta: 13 de mayo de 2022.
- Uzacanga N, Cano A, Cadena P (2021) Strategy to strengthen the traditional milpa family production systems. *Agroproductividad* 14: 119-125.
- Uzcanga N, Cano A, Medina J, Espinoza J (2015) Caracterización de los productores de maíz de temporal en el Estado de Campeche, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 36: 1295-1305.
- Uzcanga N, Chanatásig C, Cano A (2020) Sustentabilidad socioeconómica y ambiental de los sistemas de producción de maíz de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 993-1004.
- Uzcanga N, Maya A, Cano A (2012) Diagnóstico Sectorial para la Planeación del Estado de Campeche. 1ª edición. INIFAP. 148p.