

# EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ EN LA REGIÓN DE HUAMANTLA, TLAXCALA, MÉXICO

**Primo Sánchez-Morales<sup>1</sup>, Ignacio Ocampo-Fletes<sup>2</sup>, Filemón Parra-Inzunza<sup>2</sup>, Julio Sánchez-Escudero<sup>3</sup>,  
Andrés María-Ramírez<sup>4</sup>, Adrián Argumedo-Macías<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pitágoras 39 Col. Valle del Sol, Puebla, México. C. P. 72471; <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla, No. 205, Santiago Momoxpan, Municipio San Pedro Cholula, Puebla, México. C.P. 72760; <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México- Texcoco, Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230; <sup>4</sup>El Colegio de Tlaxcala, A. C. Av. Melchor Ocampo No. 28 San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala, México. C.P. 90600. E-mail: primosamo@yahoo.com

## Resumen

Se evaluó la sustentabilidad del agroecosistema maíz en el valle de Huamantla, Tlaxcala, México. El objetivo fue conocer el estado de sustentabilidad y los factores que influyen en su comportamiento. El estudio se abordó con el enfoque de sustentabilidad con base agroecológica evaluando el sistema agrícola dominante de la zona con dos formas de manejo: el tradicional (SPTrad) y el de transición hacia el agroindustrial (SPTAgroind). Se analizaron 18 indicadores con el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Para calcular el tamaño de muestra, se consideraron 1,350 productores de maíz, 86% se clasificaron en el SPTrad y 14% en el SPTAgroind; se calculó el tamaño de muestra  $n=90$ . Los resultados mostraron similitudes entre ambos sistemas de producción. Sin embargo, las diferencias del SPTAgroind se relacionan con el uso de prácticas de la agricultura industrializada. Se concluyó que el SPTrad es más sustentable al mostrar mayor biomasa cosechada respecto a la cantidad de energía fósil empleada, el uso y transmisión de prácticas tradicionales, la ética de los productores en el manejo de los recursos naturales, la adaptación a las políticas agrícolas gubernamentales y los niveles altos de seguridad alimentaria, que afectan positivamente la sustentabilidad del agroecosistema tradicional.

**Palabras Clave:** Sustentabilidad de agroecosistemas, agroecología, cultivo de maíz, MESMIS, indicadores de sustentabilidad.

## Summary

### Evaluation of the sustainability in the maize agroecosystem in the region of Huamantla, Tlaxcala, Mexico

In this study, the sustainability of the maize agro ecosystem in the Huamantla Valley, Tlaxcala, Mexico was being evaluated. The goal was to determine the state of the sustainability and the factors that influence its behavior. The study focuses on the agro-ecological sustainability and compares the two dominant farming systems in the area: the traditional (SPTrad) and the transitional to agro-industry (SPTAgroind). 18 indicators were analyzed and the Framework for Evaluation of Systems of Natural Resource Management Incorporating Sustainability Indicators (MESMIS) was applied. In order to calculate the size of the sample, 1,350 producers were considered, 86% of which, were classified as SPTrad and the rest as SPTAgroind; We calculated in a sample size  $n=90$ . The results showed some similarities between the two groups because of their peasant origin. However, the tendency of the SPTAgroind producers to employ some agro-industrial practices, explains also the existing differences. It was concluded that SPTrad is more sustainable farming system because of the following reasons: higher harvested biomass production compared to the amount of fossil energy used, the use and transmission of traditional practices, the ethics in the management of natural resources, the adaptation to governmental agricultural policies and the food security levels, all of which affect positively the sustainability of the traditional agro ecosystem.

**Key words:** Sustainability of agro ecosystems, agroecology, production of maize, MESMIS.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la humanidad enfrenta crisis alimentaria, económica, social, energética y ambiental. Esta última provocada por el deterioro de suelos, la sobreexplotación y destrucción de bosques y selvas, la contaminación de agua, la extracción masiva de agua del manto freático y el cambio climático global acelerado debido a las actividades antropogénicas contemporáneas. Este fenómeno tiene impactos ambientales y económicos negativos (Zoellick 2010).

Conjuntamente la población humana aumenta a un ritmo acelerado. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), de 1950 a 2050 la población del planeta casi se cuadruplicará, cuando en décadas anteriores se requerían 35 años para duplicarse (ONU 2013). Esta población requiere constantemente satisfactores básicos como vivienda, vestido, combustibles, alimentos y servicios. Por esta razón es inminente la presión hacia los recursos naturales agua, bosques, minerales y suelos. Actualmente muchos satisfactores provienen de actividades primarias: fibras para vestido, materias primas para industrias, granos y oleaginosas para biocombustibles y alimentos para humanos y ganado. La agricultura es base para la producción de estas materias primas. Históricamente el hombre se ha apropiado de los recursos naturales para cubrir sus *intereses y necesidades*, a partir de la actividad primaria (Toledo 1995).

La forma de apropiación de los recursos naturales ha generado dos estilos de manejo predominantes en la agricultura: la convencional (moderna o agroindustrial) y la tradicional. Hewitt (1985) sostiene que la primera se caracteriza por su alta dependencia de insumos externos, y se basa en el paquete tecnológico de la Revolución Verde, cuyos componentes provienen de las industrias química, mecánica y biológica. La producción se destina principalmente para el mercado y hace uso excesivo de energéticos fósiles, razón por la que se considera de alta entropía. En contraparte, Hernández y Aguirre (1988), afirman que la agricultura tradicional se caracteriza por aprovechar principalmente recursos locales, se produce más para autoconsumo y es de baja entropía. Estas dos formas de manejo son antagónicas y han originado diferentes estados de sustentabilidad de los agroecosistemas. Con el origen del paradigma del *Desarrollo Sostenible* (finales de la década de los 80's del siglo pasado), se planteó como objetivo avanzar a la sustentabilidad de los agroecosistemas y consecuentemente evaluarla.

Con base en lo anterior se planteó este trabajo con el objetivo de evaluar la sustentabilidad del agroecosistema maíz en sus dos formas de manejo de los recursos naturales (tradicional y en transición al agroindustrial), para proponer sistemas de producción más sustentables.

Para Conway y Barbier (2009), la sustentabilidad de los agroecosistemas es la habilidad del sistema para

mantener la productividad aun cuando está sometido a stress o perturbación. Gliessman (2002) señala que la base es ecológica y se relaciona con el rendimiento sostenido del sistema; argumenta que es difícil demostrar cuándo las prácticas empleadas son sustentables, pero es más fácil saber cuándo el sistema de producción se aleja de la sustentabilidad, debido a la alta dependencia de insumos externos, el uso irracional de agrotóxicos y de energía fósil, entre otros factores.

Masera *et al.* (2000), sostienen que no se puede hablar de la sustentabilidad de un agroecosistema desde una perspectiva económica, ambiental o social por separado, porque la sustentabilidad es resultado de la integralidad de las tres dimensiones. Ante esto, se concibe la sustentabilidad de un agroecosistema como un estado cercano al equilibrio tridimensional, inmediato a un nivel óptimo (ideal).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en la zona denominada *valle de Huamantla* que se sitúa en el municipio del mismo nombre. Se seleccionaron trece comunidades y/o ejidos de la zona oriente del estado de Tlaxcala, México. El municipio Huamantla se ubica en el altiplano central mexicano a 2 500 metros sobre el nivel del mar, entre los 19° 19' latitud norte y 97° 55' longitud oeste; la temperatura media oscila de 14 a 16 °C y las precipitaciones registradas en algunos periodos son de las más bajas del estado de Tlaxcala, 605 mm anuales en promedio (INEGI 2013). Es la región con mayor potencial para el cultivo de maíz y es donde se registra la mayor superficie a nivel estatal (SIAP 2012).

Para seleccionar el área de estudio se delimitó el polígono de la zona maicera considerando diversos factores: a) temperatura media anual de 14 a 16 °C, b) altitud entre 2 400 y 2 500 msnm, c) frecuencia de heladas de 80 a 100 días por año, d) coeficiente de escurrimiento entre 5 y 10% (INEGI 2008), e) fechas de siembra de maíz, del 11 de marzo al 10 de abril (María 2007) y f) los límites municipales y vías de comunicación. Posteriormente se generó información secundaria a partir del registro de productores del PROCAMPO<sup>1</sup> y censo de INEGI (2005). Con el apoyo de autoridades locales se hicieron recorridos de campo para reconocer la zona y sus límites físicos y se actualizó el padrón de ejidatarios.

En la región de estudio se registraron 1 350 productores que cultivan 9 700 ha de maíz, principalmente de temporal (menos de 8% usan riego). Con las bases de

1 El PROCAMPO es el "Programa de Apoyos Directos al Campo" que el gobierno de México implementó a partir de 1994, proporcionalmente al área que poseen los productores para subsidiarlos. Este programa inicialmente se propuso para un periodo de 15 años mientras liberalizaba el precio del maíz y lo colocaba en concordancia con los precios internacionales, no obstante, se ha prolongado hasta el momento actual, y ahora se llama "Proagro Productivo" (SAGARPA 2014).

**Tabla 1.** Criterios para clasificar a los productores en los sistemas de producción predominantes en el valle de Huamantla.

Parámetro	SPTAgroind	SPTrad
1. Cantidad de tierra sembrada por productor.	6 a 270 ha	0.5 a 11 ha
2. Proporción de fertilizantes que aplica (217 Kg UREA + 130 Kg superfosfato de calcio triple = 100%).	≥ 50%	< 49%
3. Proporción de herbicidas que utiliza (1 l ha <sup>-1</sup> = 100%).	≥ 50%	< 49%
4. Tipo de semillas que emplea para el cultivo.	Híbridas	Criollas
5. Frecuencia en el uso de maquinaria (que emplea energía fósil) para las diversas labores agrícolas.	≥ 50%	< 49%
6. Destino de la producción.	Venta y consumo	Consumo y venta
7. Uso de mano de obra.	Contratada y familiar	Familiar y contratada

Fuente: Elaboración propia con datos de Toledo (1995) e INIFAP (2007, 2009).

datos de las 13 comunidades y ejidos se clasificaron los productores en cada sistema de producción: Sistema de Producción Tradicional (SPTrad) y Sistema de Producción Tendiente al Agroindustrial (SPTAgroind). Para agrupar a los productores por sistema de producción se consideraron siete parámetros (Tabla 1), con rangos definidos que caracterizan a cada sistema de acuerdo al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP 2007; 2009). No obstante, varios productores presentaron rasgos de ambos sistemas de producción, por lo que se optó por ubicarlos de acuerdo a la mayor cantidad de parámetros que los caracterizaban (cuatro de siete) (Villa Issa 2008), considerando la cantidad de tierra en propiedad como el factor más importante. Con este proceso de segregación resultó: 186 productores en el SPTAgroind y 1 164 en el SPTrad.

Para obtener información primaria, se utilizó la encuesta, la entrevista semiestructurada y la observación directa. Los datos de la clasificación de productores sirvieron para calcular el tamaño de muestra total, y por afijación proporcional se calculó el tamaño de cada estrato (Cochran 1974, Azorín 1969) con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N Z^2 p * q}{N Z^2 + (Z^2) p * q}$$

El tamaño de muestra calculado fue  $n = 90$  y para cada estrato por afijación proporcional ( $n_h$ ) fue el siguiente: SPTAgroind  $n_h = 13$  y SPTrad  $n_h = 77$ . Al aplicar la encuesta se realizaron ajustes, de manera que los estratos quedaron de la siguiente forma: SPTAgroind  $n_h = 22$  y SPTrad  $n_h = 78$ . La entrevista se aplicó a 15 autoridades (informantes clave) de diferentes comunidades.

El estudio se abordó con la perspectiva de la sustentabilidad con base agroecológica, que considera a los agroecosistemas como la unidad básica para su estudio (Altieri 1987). Para evaluar la sustentabilidad, se utilizó el marco de evaluación MESMIS que propone seis pasos básicos (Masera *et al.* 2000). También se consideraron elementos de análisis multicriterio, básicamente para la valoración de sub indicadores (se le dio un peso espe-

cífico a cada uno de ellos dentro del indicador correspondiente). La información se procesó con el programa SPSS-16 para Windows.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Características del agroecosistema maíz

Se utilizó la escala temporal transversal, razón por la que se consideraron los años 2009 y 2010. La escala espacial fue el valle de Huamantla, que de acuerdo al muestreo, se consideró 396 ha del SPTAgroind y 264 ha del SPTrad (equivalen a 6.8% del área total de la región). El agroecosistema se compone de cuatro subsistemas productivos interrelacionados entre sí y con diversos flujos: 1) pecuario, 2) agrícola, 3) industrial y 4) minero (Fig. 1).

En el subsistema agrícola el cultivo de maíz es el más importante, seguido del cultivo de forrajes y hortalizas. Para el sistema de producción maíz, predominan dos formas de manejo: el SPTrad (para fines de este trabajo lo llamamos *sistema de referencia* por ser el dominante) y el SPTAgroind, que distinguimos como *sistema alternativo* (Tabla 2).

#### Los puntos críticos del agroecosistema

Como sugieren Masera *et al.* (2000) y con el objeto de identificar los puntos más vulnerables y los más robustos del agroecosistema maíz en relación a los cinco atributos de la sustentabilidad (productividad; estabilidad, resiliencia y confiabilidad; adaptabilidad; equidad; y auto dependencia o autogestión), se entrevistó a los siguientes informantes clave: 1) campesinos destacados por su empeño en la realización de su trabajo agrícola; 2) comisariados ejidales y consejos de vigilancia de ejidos estudiados; y 3) presidentes de comunidad. Los puntos críticos del sistema son: baja producción de grano y forrajes, bajos precios de la producción y altos costos de los insumos, presencia de factores climatológicos y alta dependencia de insumos. Los efectos de estos factores han generado migración y bajo relevo intergeneracional (Tabla 3).

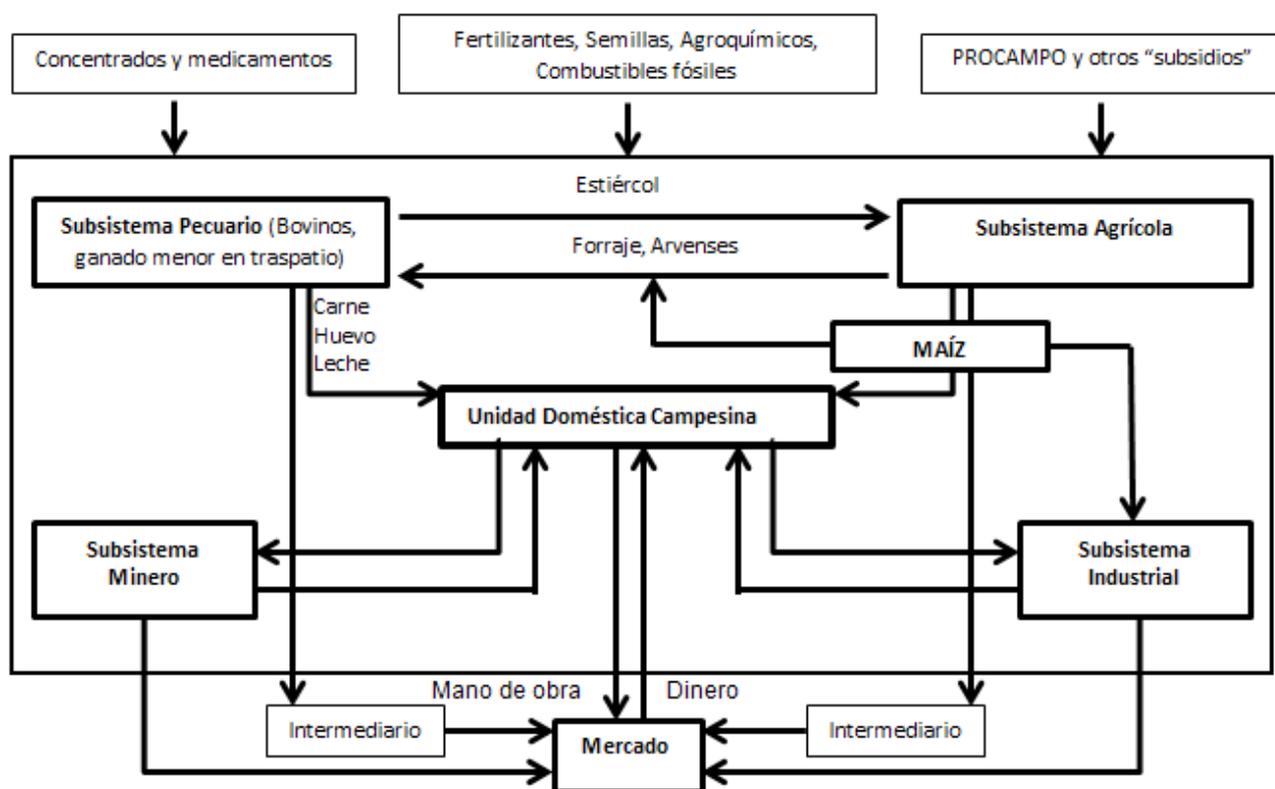


Figura 1. Agroecosistema maíz del valle de Huamantla. Fuente: Elaboración propia a partir de información de campo

Tabla 2. Características del agroecosistema maíz en sus dos formas de manejo predominantes en el valle de Huamantla.

Recursos / ámbito	SPTAgroind	SPTrad
<b>SUELOS</b>	- Abono orgánico + Fertilizante	+ Abono orgánico - Fertilizante
	- Yunta + Uso de tractor	+ Yunta - Uso de tractor
	Quita los bordos de contención	Conserva bordos de contención
	Realiza 2 labores de cultivo	Realiza 3 labores de cultivo
<b>AGUA</b>	Usa punta de riego En caso de sequía usa riego. Tiene infraestructura y posibilidades económicas	Depende del temporal. Tiene infraestructura de riego deteriorada y no cuenta con recursos para invertir en ésta
	<b>AGRODIVERSIDAD</b>	+ Semilla híbrida - Semilla criolla
Usualmente no usa yunta ni pala para sembrar		La siembra es con tractor y ocasionalmente con yunta y a pala
<b>TECNOLÓGICO</b>	Control químico de hierbas + Uso de herbicida	Deshierbe manual y/o yunta - Uso de herbicida
	Aplicación de fertilizante y herbicidas - Manual Ocasionalmente Mecanizada	Aplicación de fertilizante y herbicidas + Manual Nunca lo hace Mecanizado
	Regularmente no despunta la planta para aprovecharla como forraje	Generalmente despunta la planta para aprovecharla como forraje
	Cosecha - Manual + Maquinaria	Cosecha + Manual - Maquinaria
<b>SOCIAL</b>	Una porción muy pequeña de la cosecha es para autoconsumo. La mayoría es para venta al mercado	La cosecha es para autoconsumo principalmente y excedentes para animales y venta
	Contrata jornales para los trabajos	Emplea a integrantes de la familia principalmente
	Parcelas de 6 a 270 ha	Parcelas de 0.5 -11 ha

Fuente: Elaboración propia a partir de información de campo.

**Tabla 3.** Relación entre atributos y puntos críticos del agroecosistema maíz del valle de Huamantla.

ATRIBUTOS	PUNTOS CRÍTICOS
1. <b>Productividad</b>	Baja producción, baja disponibilidad de forraje en algunas épocas del año, bajo valor agregado, bajo aseguramiento del autoconsumo.
2. <b>Estabilidad, resiliencia y confiabilidad</b>	Tendencia al monocultivo, balance negativo de nutrientes del suelo, interés decreciente de las nuevas generaciones, recursos naturales degradados.
3. <b>Adaptabilidad</b>	Precios bajos del maíz, aspectos climatológicos poco predecibles (heladas, sequías, granizadas), alto costo de insumos externos.
4. <b>Equidad</b>	Baja rentabilidad, limitado abasto de granos, acaparamiento por intermediarios (coyotes).
5. <b>Autodependencia o autogestión</b>	Alta dependencia de insumos externos, falta de empleo y alta migración, deterioro de la organización social.

Fuente: Elaboración propia con datos de campo Julio-2010.

### Criterios de diagnóstico e indicadores

Derivado de los puntos críticos se identificaron los criterios de diagnóstico y los indicadores (sociales, ambientales y económicos). Se seleccionaron 18 indicadores, de los cuales ocho se ubican en el ámbito social (S), cinco en el económico (E) y cinco en el ambiental (A) (Tabla 4).

Desde la perspectiva de los atributos, en *Productividad* se consideraron tres indicadores; en *Estabilidad, Resiliencia y Confiabilidad*, dos; en *adaptabilidad*, seis; en *Equidad*, cuatro; y en *Autodependencia o Autogestión*, tres parámetros. Igualmente, en esta fase se plantearon herramientas metodológicas para medir los indicadores.

**Tabla 4.** Resultados de la evaluación de indicadores de sustentabilidad y sus vínculos con los atributos, criterios y valores óptimos.

ATRIBUTOS	INDICADORES	CRITERIO PARA EL ÓPTIMO	VALOR DEL ÓPTIMO	VALOR ACTUAL CALCULADO	
				SPTAgroind (alternativo)	SPTrad (de referencia)
1) Productividad	1. Cantidad de biomasa seca cosechada (grano y zacate)(A).	Rendimiento medio en los últimos 2 años (María e INIFAP, 2009).	8,938 Kg $ha^{-1}$ <b>100%</b>	6,331.3 Kg $ha^{-1}$ <b>70</b>	5,725.4 Kg $ha^{-1}$ 64
	2. Relación beneficio /costo (E).	Que se haya generado empleo y no haya pérdida económica en el proceso de producción.	1.000 <b>100%</b>	1.0681 <b>100</b>	0.9421 <b>94.2</b>
	3. Cantidad de producto/ energía fósil empleada (A).	Promedio de la eficiencia de ambos sistemas, respecto al producto entre la biomasa seca cosechada y energía fósil empleada.	2.3125 kg/MJ 100%	1.954 kg/MJ 85	2.671 kg/MJ 100
2) Estabilidad, Resiliencia, Confiabilidad	4. Agro biodiversidad (A).	Que la totalidad de productores tengan 2 ó más especies de cultivos, y 2 ó más variedades de maíz criollo (Gliessman, 2002).	100% <b>100%</b>	78.2% <b>78.2</b>	64.7% <b>64.7</b>
	5. Prácticas de conservación de los RRNN (A)	Que la totalidad de productores realicen 4 prácticas importantes de conservación de RRNN.	100% 100%	47 47	47 47
3) Adaptabilidad	6. Nuevas prácticas de manejo del cultivo (S).	Valor máximo posible de adoptantes de nuevas prácticas de manejo (Rogers y Svenning 1995).	50% <b>100%</b>	13.6 % <b>27.2</b>	2.6% <b>5.2</b>
	7. Capacitación técnica e intercambio de experiencias (S)	Valor máximo de posibles capacitados y asistentes a intercambios.	100 % 100 %	6.3% 6.3	2.8% 2.8
	8. Balance de oferta y demanda de grano en la zona/ sistema (E).	Relación entre oferta (O) y (D) demanda por sistema productivo.	1 <b>100%</b>	4.5 <b>100</b>	2.8 <b>100</b>
	9. Uso y transmisión de algunas prácticas tradicionales (S)	Mayor proporción de productores que emplean 4 prácticas tradicionales y las trasmiten a sus hijos.	100% <b>100%</b>	39% <b>39</b>	68% <b>68</b>
	10. Ética en el manejo de RRNN (S).	Número de productores con una sensibilidad ecológica positiva y congruente en cada sistema de producción	100% <b>100%</b>	59% <b>59</b>	70% <b>70</b>
	11. Adaptación a las políticas agrícolas dirigidas al cultivo del maíz (S)	Número de productores que se han adaptado a las nuevas políticas públicas	100% <b>100%</b>	59% <b>59</b>	71% <b>71</b>

ATRIBUTOS	INDICADORES	CRITERIO PARA EL ÓPTIMO	VALOR DEL ÓPTIMO	VALOR ACTUAL CALCULADO	
				SPTAgroind (alternativo)	SPTrad (de referencia)
4) Equidad	12. Nivel de seguridad alimentaria respecto a maíz (S).	Valor máximo posible con la suma de los valores de Cantidad producida/ cantidad consumida y origen del maíz (para humanos y ganado)	100 %	131%	100%
			<b>100%</b>	<b>69</b>	<b>100</b>
	13. Distribución de la tierra (S).	Cantidad adecuada de tierra en hectáreas, para la producción de autoconsumo y excedentes (Damián <i>et al.</i> 2013).	10 ha	15 ha	4.1 ha
			<b>100%</b>	<b>50</b>	<b>41</b>
	14. Distribución de maquinaria y equipo (E).	1 tractor para trabajar 20 ha.	F=0.05	0.067	0.062
			<b>100%</b>	<b>66</b>	<b>76</b>
	15. Distribución del ingreso (agrícola por maíz) (E).	Índice de Gini (baja concentración de la riqueza).	IG=0	IG=0.29	IG=0.33
			<b>100%</b>	<b>71</b>	<b>67</b>
5) Autogestión (Auto dependencia)	16. Migración (S)	Cero emigración, si las actividades agrícolas son suficientemente generadoras de empleo.	0%	36.4 %	28.2 %
			100%	64	72
	17. Ingresos en la UDC (E).	Ingresos por venta de maíz.	100%	42.6%	27.8%
			<b>100%</b>	<b>42.6</b>	<b>27.8</b>
	18. Independencia de insumos externos (A).	Menor dependencia de insumos externos.	30%	91 %	61 %
			100%	12	56

Dimensiones: (A)= Ambiental; (E)= Económica; (S)= Social. SPTrad (n=78) SPTAgroind (n=22). Fuente: *Elaboración propia con datos de campo Febrero- Julio 2011.*

### Medición y monitoreo de indicadores

Para describir los resultados de la medición de indicadores, se puntualiza de acuerdo a cinco atributos. En la tabla 4 se muestran los resultados de la evaluación y en la figura 2 (gráfico tipo AMIBA) se presentan los 18 indicadores en forma conjunta.

#### 1. Productividad

La productividad es la capacidad del agroecosistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios (Maser *et al.* 2000), puede ser alta o baja en un período de tiempo específico. En este atributo se evaluaron tres indicadores: *cantidad de biomasa seca cosechada* (Bsc), hace referencia al grano y forraje de la planta de maíz secos y cosechados en promedio por hectárea y por sistema productivo durante un ciclo; *la relación beneficio/costo* (R B:C) se planteó para conocer la rentabilidad económica de la producción de maíz en la zona y *cantidad de producto/ energía fósil empleada*, indica la proporción media de Bsc respecto a la cantidad de energéticos fósiles utilizados.

Los resultados del indicador *cantidad de biomasa seca cosechada* (Bsc) favorecen al sistema alternativo (SPTAgroind=6.331 TM<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; SPTrad=5.725). En el primer caso, aunque se produce más Bsc, también se le invierte más capital. En comunidades de la región de Serdán, Puebla, Contreras (2005) proyectó para el periodo 1970 a 2030, rendimientos de maíz que van de 1.930 TM ha<sup>-1</sup> a 2.572, volúmenes similares a los del valle de Huamantla respecto a grano, aunque no reporta datos relativos a

la cantidad de zacate; en tanto Astier *et al.* (2003) calcularon rendimientos de 5.2 a 6.5 TM ha<sup>-1</sup> considerando grano, raquis y zacate, datos cercanos a los del área de estudio.

En el indicador *RB:C* existe poca diferencia a favor del SPTAgroind (SPTAgroind=1.0681, SPTrad=0.9421), revela que en el SPTrad no se recupera la inversión económica. Los datos son similares a los calculados por Astier *et al.* (2003) en sistemas de producción de maíz en la región Purhépecha del estado de Michoacán, al occidente de México.

Los resultados para el indicador *cantidad de producto/ energía fósil empleada* favorecen al SPTrad porque produce más Bsc en relación a la energía empleada (2.671 Kg/ MJ) que el sistema alternativo (1.954 Kg/MJ). Estos datos, convertidos a toneladas de Bsc equivalen a 1 TM/25 L de diésel y 1 TM/33 L, respectivamente. Para el caso de los Estados Unidos de América, Pimentel y Pimentel (2005) y Pimentel *et al.* (1990) reportaron que para producir una tonelada de maíz se requerían 142.5 L de diésel. Esta situación explica que los sistemas agrícolas que utilizan más maquinaria son más demandantes de energía fósil.

#### 2. Estabilidad, Resiliencia, Confiabilidad

Este atributo conjunta diversos factores como la capacidad del agroecosistema para mantener el equilibrio dinámico y estable a través del tiempo, la capacidad de retornar a su estado de equilibrio ante perturbaciones graves y de mantener beneficios (Maser *et al.* 2000). Se evaluaron dos indicadores: *agrodiversidad* que conside-

ró la diversificación de cultivos (especies y variedades) y *prácticas de conservación de los recursos naturales*, enfocado a los recursos suelo, agua y diversidad agrícola.

Los resultados en *agrodiversidad* favorecen al sistema alternativo con 78.2% en relación al SPTrad que obtuvo 64.7% que muestran la proporción de campesinos que cultivan dos o más especies y variedades de maíz criollo. Este aspecto es importante, pues Guevara *et al.* (2000) reportan que en el caso de maíz asociado con mucuna, la resiliencia puede verse afectada por la base genética poco amplia basada en una sola especie, que da cabida al posible ataque de insectos. De acuerdo a Griffon (2008), los seres humanos nos hemos hecho dependientes de solamente cuatro cultivos para nuestra dieta (maíz, trigo, arroz y soya) demeritando con esto la agrodiversidad.

En el agroecosistema de estudio se encontraron seis variedades de maíz: blanco, azul, xocoyul, amarillo, cremoso y cacahuazontle; además avena, trigo, frijol, haba, calabaza, hortalizas, frutales y maguey, entre otros. No obstante, para 88% de productores el maíz representa al menos 65% del total de su área de cultivo y es el principal producto para consumo humano por lo que siembran diferentes variedades.

En el indicador *prácticas de conservación de los recursos naturales*, los resultados muestran igualdad (47%) que indica que solo este porcentaje de productores realizan al menos cuatro prácticas para la conservación de recursos naturales; para el resto de productores supone poca importancia, no obstante que la conservación de suelos y agua es una técnica agroecológica importante que complementada con la plantación de barreras vivas, el uso de abonos orgánicos, las rotaciones y asociaciones de cultivos, entre otras, pueden incidir positivamente en la sustentabilidad de un agroecosistema (Sánchez y Castro 2011), por lo que la sustentabilidad se basa en la preservación de la calidad de los recursos naturales (Gliessman 2002).

### 3. Adaptabilidad

La *adaptabilidad (flexibilidad)*, es la capacidad del sistema para encontrar nuevos niveles de equilibrio ante cambios socio ambientales en el largo plazo (Masera *et al.* 2000). En este atributo se analizaron seis indicadores: *nuevas prácticas de manejo del cultivo, capacitación técnica e intercambio de experiencias, balance de oferta y demanda de grano de maíz en la zona/sistema, uso y transmisión de algunas prácticas tradicionales, ética en el manejo de recursos naturales y adaptación a las políticas agrícolas dirigidas al cultivo del maíz.*

El indicador *nuevas prácticas de manejo del cultivo* se planteó en este atributo, considerando que la adopción de algunas técnicas puede incidir de manera positiva para la adaptabilidad de los agroecosistemas respecto a factores climatológicos, tanto del cambio climático, como de elementos meteorológicos locales como las heladas o

las sequías. Algunas prácticas en el mediano y largo plazo pueden ser definitivas para que se coseche al menos para autoabasto, o que se pierda totalmente la cosecha. Un ejemplo es el corte de la punta que algunos productores de Huamantla realizan a la planta de maíz (en estado lechoso del elote), con el propósito de acelerar la maduración del grano, situación que pretende ganar tiempo a la posible caída de una helada, y que puede marcar la diferencia entre cosechar o no (María 2007).

Los resultados en este indicador son bajos para ambos sistemas agrícolas (SPTAgroind= 13.6%, SPTrad= 2.6%) que favorecen al sistema alternativo. Los datos muestran que ante factores climáticos, se han implementado pocas prácticas alternativas. Una de las *nuevas prácticas* es la selección masal de semillas en campo (de forma sencilla y efectiva que realizan los mismos productores) para identificar características fenotípicas expresadas en la planta (como la precocidad). Los resultados bajos se deben parcialmente a la perspectiva gubernamental, que propone e impulsa en la zona paquetes tecnológicos como el uso de semillas híbridas (H-40, Halcón, Cándor, AS-721, AS-820, H-44, H-33 y H-30), fertilizantes, herbicidas, etc. (INIFAP 2007), que hacen a los productores más dependientes de insumos externos, y su única finalidad es incrementar la productividad. Esto no propicia la adaptabilidad de los agroecosistemas a las condiciones cambiantes.

Respecto a *capacitación técnica e intercambio de experiencias* también resultó muy bajo (SPTAgroind= 6.3%, SPTrad= 2.8%) siendo mejor en el sistema alternativo con mayor número de productores capacitados. Este fenómeno es recurrente cuando se trata de sistemas más tecnificados. Merlin (2009) reporta 58% de productores capacitados con chinampas y 74% para productores con invernaderos. Por otro lado, los apoyos gubernamental para asesoría técnica al sistema maíz se ha reducido drásticamente en los últimos años por cambios en las políticas sectoriales (Aguilar *et al.* 2010).

En el indicador *balance de oferta y demanda de grano de maíz en la zona/sistema*, se consideró la oferta como la cantidad de maíz disponible para ofrecer (vender) a un precio y durante un tiempo determinado, y la demanda, cantidad de grano que se está dispuesto a adquirir (comprar) a un precio determinado, durante un periodo de tiempo definido. Para el análisis se estimó la cantidad de grano requerido en la unidad doméstica campesina (UDC), para consumo humano y animal (ganado mayor y de traspatio) durante un año y para todo el sistema agrícola. Los resultados muestran que el SPTrad produce casi tres veces lo que consumen al año, y el SPTAgroind cuatro y media veces, mostrando la capacidad de oferta y demanda en ambos sistemas. Esto confirma que Huamantla es el principal productor de maíz del estado de Tlaxcala (SIAP 2012).

Para el indicador *uso y transmisión de algunas prácticas tradicionales*, se valoraron cuatro prácticas: uso de

yunta, despunte de la planta, transmisión de técnicas de selección de semillas de padres a hijos y fechas de siembra. Los resultados muestran que en el SPTrad mayor número de productores (68%) realizan estas prácticas, en comparación al SPTAgroind (39%). Estos resultados suponen que el tamaño de la parcela condiciona el tipo de prácticas y uso de conocimientos; la superficie del SPTrad es más pequeña (0.5 a 11.0 ha). La transferencia de conocimientos y experiencias es una manera de comportamiento de padres a hijos a nietos (Altieri y Toledo 2011) como ocurre en el sistema tradicional.

El indicador *ética en el manejo de recursos naturales*, consideró opiniones de los productores sobre el significado de sus suelos agrícolas, el agua y la agrodiversidad; se contrastó la información de lo que piensan sobre esos recursos y lo que hacen en sus parcelas. Resultó que en el SPTrad hay mayor sensibilidad ecológica (70%) en relación al SPTAgroind (59%), mostrando congruencia entre sus discursos y sus hechos. A pesar del origen común, los productores que manejan el SPTAgroind muestran menos interés en la conservación de los recursos ante la búsqueda de mayor producción y un cambio en su filosofía de vida (Leff 2007).

Para valorar la *adaptación a las políticas agrícolas dirigidas al cultivo del maíz*, se consideró el contexto actual de México respecto a políticas agrarias: tratados de libre comercio (TLC), liberación de precios internacionales en productos agropecuarios, proceso gradual para el caso de productores de maíz con el subsidio denominado PROCAMPO durante 15 años (IICA 1999). La medición del indicador favoreció al SPTrad= 71%, respecto al SPTAgroind= 59%, debido a que los campesinos tienen sus propias estrategias de supervivencia (Chayanov 1986) y se adaptan a políticas y programas que implementa el gobierno. Rendón (2004), concluye en su trabajo de evaluación mixta de sustentabilidad, que los productores mexicanos tienen alta capacidad de adaptabilidad a los programas públicos, situación que se manifiesta en el SPTrad, que si bien es afectado por el TLC, no así por PROCAMPO, por lo que se adaptan al nuevo contexto.

#### 4. Equidad

La equidad es la capacidad del sistema para distribuir de manera justa, intra e intergeneracionalmente los beneficios y costos relacionados con el manejo de recursos naturales (Maser et al. 2000). Supone medir el grado de uniformidad con que son distribuidos los productos del agroecosistema entre productores y consumidores. En este atributo se analizaron cuatro indicadores: *nivel de seguridad alimentaria respecto a maíz, distribución de la tierra, distribución de maquinaria y equipo, y distribución del ingreso agrícola (por maíz)*.

Para valorar *nivel de seguridad alimentaria respecto a maíz*, se tomó como base el concepto de seguridad alimentaria: "cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes

*alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana"* (CMA 1996, Camberos 2000, Wolfensberger 2007, FAO 2013). En este caso se consideró el acceso físico relacionado a la cantidad cosechada por los productores, y a la calidad del grano consumido de acuerdo a su percepción: el maíz criollo es de mayor calidad (mejor sabor, textura, etc.) respecto al híbrido. También se contempló la cantidad y calidad de tortillas que consumen las familias en un año, considerando de mayor calidad las hechas a mano, y de menor calidad las elaboradas en tortillerías mecanizadas (Appendini y Torres-Mazuera 2008).

Los resultados favorecieron al SPTrad, porque producen suficiente maíz, de mejor calidad, y en 92% de hogares campesinos hacen tortillas con su maíz criollo; en el SPTAgroind, 69% emplean parte de su producción para autoconsumo (indistintamente maíz híbrido y criollo), y el resto, compran tortillas solo de maíz híbrido.

Astier et al. (2003), en dos sistemas comparados: Tradicional diversificado (policultivo) (STd) y Tradicional (maíz) (ST), reportan que el STd cumple totalmente con la seguridad alimentaria (produce suficiente), y el ST solo 60%, porque en ese caso, no cubre requerimiento de leguminosas. Sin embargo, no reportan alguna comparación, como en el caso de Huamantla, respecto a la calidad de la tortilla por el tipo de maíz empleado o la forma de elaboración. Tampoco respecto a la calidad de las leguminosas cosechadas.

El indicador *distribución de la tierra*, examinó la superficie media que cultivan los agricultores de sistema agrícola. En el SPTAgroind poseen cuatro veces más tierra que en el SPTrad (15 y 4.1 ha respectivamente). En el SPTAgroind emplean 70% de superficie para cultivar maíz, y en el SPTrad destinan poco más de 80%. Para la región estudiada, se planteó como óptimo 10 ha/productor, considerando que en la propuesta de Damián et al. (2013) sugieren que cada persona requiere 500 kg de maíz al año para cubrir sus necesidades. De acuerdo a los rendimientos mínimos (900 kg ha<sup>-1</sup>), en un escenario donde el productor siembre 8.5 ha de maíz criollo, cosecharía 9 TM, cantidad suficiente para el autoabasto de una familia de nueve integrantes durante un año, y excedentes de 3.2 TM para la venta al mercado. Esta cantidad estaría en función del rendimiento obtenido.

Respecto al indicador *distribución de maquinaria y equipo* se consideró como base el *factor de mecanización* (cociente), resultado de distribuir un tractor para 20 ha<sup>3</sup>, superficie adecuada que puede trabajar la maquinaria, de acuerdo a la potencia y modelo. Los resultados muestran que el SPTrad tiene un cociente de 0.062 que equivale a 76% respecto al ideal, y el SPTAgroind muestra un cociente 0.067 equivalente a 66%. El trabajo de

3 El factor de mecanización ideal de la distribución de maquinaria es un cociente igual a 0.05; valores cercanos a este son más adecuados que los más alejados.

Brunett (2004) en el valle de Toluca, estado de México, refiere a la proporción del uso de maquinaria para el cultivo de maíz respecto a la superficie cultivada en esa zona (99.4%), y sugiere un factor de mecanización de 0.02 (1 tractor/ 50 ha). Sin embargo, la potencia del tractor calculado para el Valle de Huamantla es de 20 hp, y para el Valle de Toluca no se especifica la capacidad de la maquinaria.

Para *distribución del ingreso agrícola (por maíz)*, se empleó el índice de Gini (IG) con el objetivo de medir la distribución de este ingreso específico (González 2009). El IG es un coeficiente que propone valores entre cero y uno, de manera que cero indica un escenario de *perfecta igualdad* entre los integrantes de un grupo (todos tienen los mismos ingresos), mientras que la unidad representa la perfecta desigualdad (una persona del grupo tiene todos los ingresos y los demás ninguno). Los resultados favorecieron al SPTAgroind (IG=0.29), implica que la distribución del ingreso agrícola por el cultivo de maíz, es ligeramente mejor que en el SPTrad (IG=0.33).

En el caso reportado por Ocampo (2004), para el Canal San Félix de la región de Atlixco, Puebla, calculó un IG=0.26, donde se distribuyen 50% de los ingresos generados entre 80% de productores. En el caso del Valle de Huamantla, la distribución de 60% de ingresos se realiza entre 80% de agricultores, y el IG calculado no dista mucho del hallado por Ocampo a pesar de las diferencias entre las regiones y sistemas de cultivos.

### 5. Autodependencia (Autogestión)

La *Autodependencia* es la capacidad del sistema para regular y controlar sus interacciones con el exterior, incluidos procesos de organización y mecanismos del sistema socioambiental (Maserá *et al.* 2000). En términos sociales se emplea *autogestión*, que implica la participación de todos los integrantes de una comunidad en la propiedad y control de su misma organización (Adizes 1977). Se evaluaron tres indicadores: *migración, ingresos de la UDC e independencia de insumos externos*.

La *migración* en el municipio Huamantla es muy baja, y los destinos preferidos para emigrar son: California, Indiana y New York en los Estados Unidos de Norteamérica (Jiménez y González 2008). En este caso, la emigración es considerada un fenómeno negativo, contemplando que la gente deja su lugar de origen porque no tiene oportunidades de mejorar su calidad de vida. En el SPTAgroind, 32% de productores tienen familiares trabajando en el extranjero y 5% en otras ciudades de México; en el SPTrad, 21% tienen familiares en los Estados Unidos y 7% en México.

El indicador *ingresos en la UDC*, se valoró a partir de los *ingresos que aportan las diversas actividades* y el *aporte del maíz* con el mismo objetivo. El SPTAgroind resultó con 42.6%, mientras el SPTrad con 27.8% debido a que la superficie sembrada de maíz es comparativamente mayor y sus rendimientos también son ligera-

mente mayores. Guadarrama (2006) encontró que un grupo de productores tienen más altos ingresos, debido a la diversificación productiva. Mientras Ocampo (2004), reporta que en el cultivo de maíz no se genera utilidad económica por los bajos precios en el mercado.

Finalmente, el indicador *independencia de insumos externos*, evaluó la dependencia de las UDC respecto a semillas, agroquímicos, maquinaria y equipo. El SPTAgroind resultó con mayor dependencia (91%) en relación al SPTrad (61%), debido a que el primero depende más de equipo, maquinaria y agrotóxicos que provienen del exterior. Astier *et al.* (2003), reportaron resultados con dependencia entre 55 y 70% aproximadamente en los sistemas que compararon y contemplaron los jornales empleados aunados a maquinaria, equipo y agroquímicos. En el caso de Huamantla, la dependencia es más alta a pesar de que no se consideraron los jornales como insumos externos.

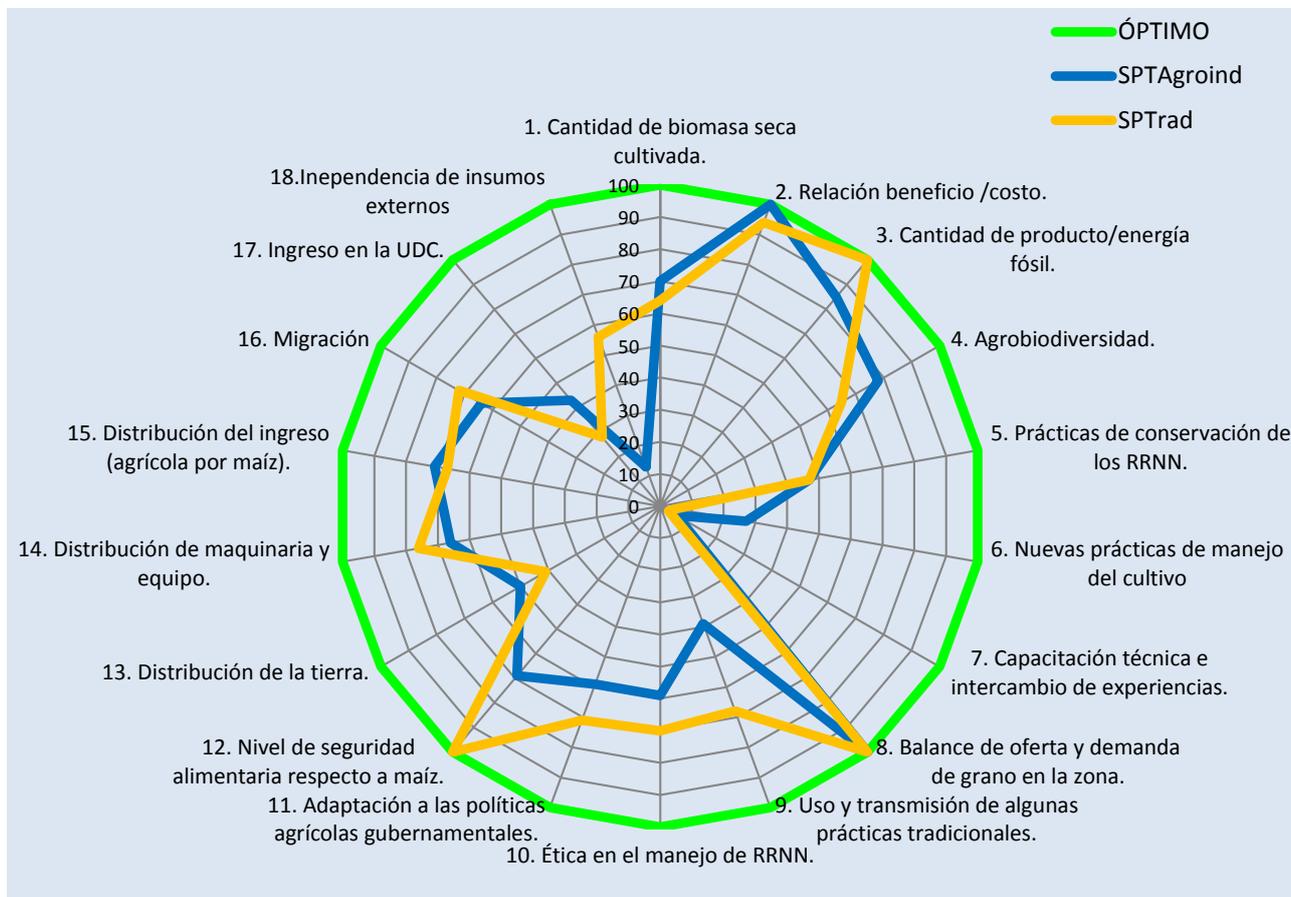
### Presentación e integración de resultados

En esta fase se realizó una síntesis de la información generada para la evaluación de indicadores de sustentabilidad como recomiendan Maserá *et al.* (2000). También se plantearon los *valores óptimos* para cada indicador, considerando que estos se remontan a un escenario ideal y/o real de sustentabilidad, de acuerdo a resultados de estudios previos o a aspectos teóricos. En la tabla 4 se muestra la relación entre *atributos, indicadores, criterios, valores óptimos y calculados* para cada sistema productivo.

## 4. CONCLUSIONES

El estudio planteó evaluar la sustentabilidad del sistema agrícola maíz comparando sus dos principales formas de manejo de los recursos naturales para producir alimentos. Al comparar resultados de los indicadores, el SPTAgroind resultó con valores más altos en dos indicadores ambientales, en tres económicos y en tres sociales (ocho en total), mientras que en el SPTrad, se obtuvieron valores mayores en dos indicadores ambientales, un económico y cinco sociales (también ocho en total). En dos indicadores ambos grupos tienen valores iguales: *prácticas de conservación de recursos naturales y balance de oferta y demanda*.

Al considerar en el gráfico área de sustentabilidad a todo el espacio dentro del perímetro que delimitan los valores calculados, resultó que el área del polígono del sistema de referencia es mayor al área del sistema alternativo. Lo anterior indica que el SPTrad es más sustentable que el SPTAgroind desde una visión integral tridimensional (ámbitos: social, económico y ambiental). En el gráfico, los valores de los óptimos están representados con línea verde, los valores del SPTAgroind con línea azul y los indicadores del SPTrad con amarilla (figura 2).



**Figura 2.** Comparación de 18 indicadores de sustentabilidad entre dos sistemas de producción en Huamantla, Tlaxcala, México. Fuente: Elaboración propia a partir de información de campo

En los ocho indicadores que favorecen al SPTAgroind, la diferencia respecto al SPTrad es poca. Por el contrario, existen cuatro indicadores que favorecen al SPTrad con un margen considerable: a) *cantidad de producto/energía fósil empleada* porque se utiliza menor cantidad de energéticos derivados del petróleo para el proceso de producción (debido al uso de maquinaria desde la preparación del suelo hasta la cosecha); b) *uso y trasmisión de prácticas tradicionales* en que destaca el despunte con dos finalidades: aprovechar la punta de la planta de maíz para forraje y acelerar el proceso de maduración de la mazorca. Esto es importante en la zona, porque esta práctica puede marcar la diferencia de cosechar o perder la cosecha por la caída de una helada cuando el elote está en estado lechoso; c) *nivel de seguridad alimentaria respecto a maíz*, ambos grupos satisfacen esta característica a diferentes niveles. El SPTAgroind cumple con este objetivo a un nivel menor que el SPTrad, desde una visión integral entre valores cuantitativos y cualitativos, por el uso que le dan al maíz criollo que producen: en el sistema *alternativo* su prioridad es producir para el mercado; en el sistema de *referencia* se produce principalmente para autoabasto y los excedentes para el mercado; y d) *independencia de insumos externos*, los productores del SPTrad emplean menos insumos de fuera que los del SPTAgroind (este úl-

timo utiliza más herbicidas, semillas híbridas, fertilizantes y ocasionalmente insecticidas).

Los productores del SPTAgroind tienen origen campesino similar a los del SPTrad. Es la primera generación de agricultores del sistema *alternativo* que tienen más posibilidades económicas y tecnológicas, razón por la que aún se encuentran en el punto de transición de una forma de producción agrícola de bajos insumos, a otra de altos insumos y mayor dependencia externa. Por el origen común, los resultados en la evaluación de los indicadores planteados en la mayoría de casos son muy cercanos. Sin embargo, en rubros como *cantidad de producto/energía fósil*, *uso y trasmisión de prácticas tradicionales*, *dependencia de insumos externos*, *cantidad de Bsc*, *relación B:C* e *ingresos en la UDC*, se nota la separación entre ambos conjuntos. En general, los indicadores evaluados se encuentran más cercanos al óptimo en el SPTrad que en el SPTAgroind.

## REFERENCIAS

- Adizes I. 1977. Autogestión: La práctica yugoslava. México: Fondo de Cultura Económica.
- Aguilar AJ, Altamirano JRC, Rendón RM. 2010. Del extensionismo agrícola a las redes de innovación rural. FAO, CIESTAAM-UACH, CYTED, México.

- Altieri MA. 1987. The scientific basis of alternative agriculture. Boulder, CO, USA: Westview press, Inc.
- Altieri MA, Toledo VM. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies* 38: 587-612.
- Appendini KG, Torres-Mazuera. 2008. ¿Ruralidad sin agricultura? Perspectivas multidisciplinares de una realidad fragmentada. México, D. F.: El Colegio de México.
- Astier M, Pérez-Agís E, Ortiz T, Mota F. 2003. Sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz después de cinco años: el segundo ciclo de evaluación MESMIS. *LEISA* 19 (0): 39-46.
- Azorín F. 1969. Curso de muestreo y aplicaciones. Madrid, España: Aguilar.
- Brunett PL. 2004. Contribución a la evaluación de la sustentabilidad; estudio de caso dos agroecosistemas campesinos de maíz y leche del Valle de Toluca. Tesis de Doctorado. UNAM. México, D. F.
- Camberos CM. 2000. La seguridad alimentaria de México en el año 2030. *Ciencia Ergo Sum* 7: 123-145.
- Chayanov AV. 1986. The theory of peasant economy. Madison, WI, USA: The University of Wisconsin Press.
- CMA (Cumbre Mundial sobre la Alimentación). 1996. Seguridad alimentaria. [ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb\\_02\\_es.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb_02_es.pdf)
- Cochran GW. 1974. Técnicas de muestreo. México: CEC-SA.
- Contreras RJ. 2005. Evaluación de la sostenibilidad del cultivo de maíz grano en la región de Serdán, Puebla (México). Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Conway GR, Barbier EB. 2009. After the green revolution: sustainable agriculture for development. London England: Earth scan Publications.
- Damián HMA, Cruz LA, Ramírez VB, Romero AO, Moreno LS, Reyes ML. 2013. Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal. *Agricultura, sociedad y desarrollo* 10(2): 157-176.
- FAO. 2013. Seguridad alimentaria. <http://www.fao.org/docrep/003/w3613s/w3613s00.htm>
- Gliessman S. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica: LITOLAT.
- González B. 2009. Cálculo del índice de Gini. [http://is-suu.com/byrong/docs/c\\_lculo\\_del\\_indice\\_de\\_gini#print](http://is-suu.com/byrong/docs/c_lculo_del_indice_de_gini#print)
- Griffon BD. 2008. Sobre la extinción de variedades y razas criollas. <http://agroecologiavenezuela.blogspot.mx/search?q=Sobre+la+extinci%C3%B3n+de+variedades+y+razas+criollas>
- Guadarrama LAG. 2006. Los agroecosistemas de café y la sustentabilidad en la región de Cuetzalan, Puebla. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Guevara F, Carranza T, Puentes R, González C. 2000. La Sustentabilidad de sistemas maíz-mucuna en el Sureste de México (primer ciclo de evaluación). En *Sustentabilidad y sistemas campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural.* (Masera O, López-Ridaura S, coord.) México DF: GIRA AC, Mundiprensa, Programa Universitario de Medio Ambiente de la UNAM, pp. 207-266.
- Hernández XE, Aguirre RJR. 1988. Etnobotánica y agricultura tradicional. En: *Nueve mil años de agricultura en México, homenaje a Efraín Hernández Xolocotzi.* (Díaz León MA, Cruz León A, coord.) Mexico: Grupo de Estudios Ambientales AC, Universidad Autónoma de Chapingo, pp. 145-153.
- Hewitt AC. 1985. La modernización de la agricultura mexicana, 1949-1970. México, DF: Siglo XXI.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1999. Características Relevantes de la Evolución Política Agrícola en México. México DF: Orton IICA/CATIE.
- INEGI. 2005. Censo agropecuario del estado de Tlaxcala 2005. Aguascalientes, México.
- INEGI. 2008. México en el mundo 2008. [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/mexmun/2008/mexmun08.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/mexmun/2008/mexmun08.pdf)
- INEGI. 2013. Anuario estadístico del estado de Tlaxcala 2013. Aguascalientes, México.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 2007. Paquetes Tecnológicos para Maíz de Temporal (Ciclo Agrícola Primavera-Verano) para condiciones de Alto, Medio y Bajo Potencial Productivo. México DF: INIFAP, SAGARPA.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 2009. Cultivo del maíz para el Distrito de Desarrollo Rural 165 de Huamantla, Tlaxcala. México DF: INIFAP, SAGARPA.
- Jiménez GR, González RA. 2008. La migración de tlaxcaltecas hacia Estados Unidos y Canadá. Panorama actual y perspectivas. Tlaxcala, México: El Colegio de Tlaxcala, AC, UAT, SEPUDE.
- Leff E. 2007. Saber ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. México DF: Siglo XXI.
- María RA, INIFAP. 2009. Apuntes de experimentos en INIFAP. Archivos no publicados. Tlaxcala, México.
- María RA. 2007. El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Masera O, Astier M, López RS. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. México: Mundiprensa, GIRA AC, Instituto de Ecología UNAM.

- Merlín UY. 2009. Evaluación de dos sistemas de manejo de recursos naturales de Xochimilco con indicadores de sustentabilidad. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, AC Xalapa, Veracruz, México.
- Ocampo FI. 2004. Gestión del agua y sustentabilidad de los sistemas de pequeño riego. El caso del canal San Félix, Atlixco, México. Tesis de Doctorado. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- ONU. 2013. La población mundial crecerá mil millones en la próxima década. Publicado el 13 de junio 2013. Nueva York, USA. <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050.html>
- Pimentel D, Dazhong W, Giampetro M. 1990. Technological changes in energy use in U.S. Agricultural production. En *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture* (Gliessman E, ed). New York: Springer-Verlag, pp. 147-164.
- Pimentel D, Pimentel M. 2005. Energy use in agriculture: an overview. *LEISA*: 21:5-7.
- Rendón MR. 2004. Evaluación comparativa de sustentabilidad en sistemas agrícolas convencionales, mixtos y orgánicos de México. Tesis de Doctorado. CIESTAAM, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Rogers ME, Svenning L. 1995. *Diffusion of innovations*. New York: The Free Press.
- SAGARPA. 2014. El programa Procampo. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/proagro/procampo/Paginas/procampo.aspx>
- Sánchez MP, Castro PF (coords). 2011. *Prácticas agroecológicas para una agricultura sostenible*. Tlaxcala, México: El Colegio de Tlaxcala, AC, PRODERI-VG.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la SAGARPA). 2012. Rendimientos de granos por Estados y años. <http://siap.gob.mx/>.
- Toledo VM. 1995. Campesinidad, agroindustrialidad, sostenibilidad: Los fundamentos ecológicos e históricos del desarrollo rural. Cuaderno de trabajo 3. Grupo Interamericano para el Desarrollo Sostenible de la Agricultura y los Recursos Naturales, México.
- Villa Issa M. 2008. ¿Qué hacemos con el campo mexicano? México DF: Colegio de Postgraduados, El colegio de Puebla, Mundiprensa México.
- Wolfensberger SL. 2007. *Sustentabilidad y desarrollo: suficiente siempre*. México: Universidad Anáhuac, Miguel Ángel Porrúa.
- Zoellick RB. 2010. *Informe sobre desarrollo mundial 2010: Desarrollo y cambio climático*. Washington DC: Banco Mundial.