



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS Y SOSTENIBILIDAD  
DEL AGROECOSISTEMA CAMPESINO MAÍZ-LECHE CON  
GANADO ESTABULADO**

**EDWIN ALFONSO ZELAYA BENAVIDEZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2015



INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUS PUEBLA

CAMPUE- 43-2-03

## **CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Edwin Alfonso Zelaya Benavidez** alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Benjamín Valeriano Peña Olvera** por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Prácticas agroecológicas y sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 24 de agosto del 2015.

---

Edwin Alfonso Zelaya Benavidez

---

Dr. Benjamín Valeriano Peña Olvera

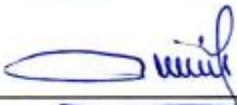
La presente tesis, titulada: “**Prácticas agroecológicas y sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado**”, realizada por el alumno: **Edwin Alfonso Zelaya Benavidez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. BENJAMÍN VALERIANO PEÑA OLVERA

ASESOR:   
DR. IGNACIO OCAMPO FLETES

ASESOR:   
DR. JOSÉ SERGIO ESCOBEDO GARRIDO

ASESOR:   
DR. JOSÉ REGALADO LÓPEZ

ASESOR:   
DR. JAIRO EMILIO ROJAS MEZA

Puebla, Puebla, México, 24 de agosto del 2015

# **PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS Y SOSTENIBILIDAD DEL AGROECOSISTEMA CAMPEÑO DE MAÍZ-LECHE CON GANADO ESTABULADO**

Edwin Alfonso Zelaya Benavidez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Uno de los principales retos de la sociedad actual en constante crecimiento demográfico es implementar una agricultura sostenible y altamente productiva para alimentar a toda la población mundial. La agroecología provee las bases teóricas y metodológicas necesarias para lograr ese reto por medio de la aplicación de principios ecológicos. Sin embargo, es necesario conocer los límites de dichos principios y su efecto en la sostenibilidad en diferentes agroecosistemas. Tal es el caso del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, que usa abono orgánico, rota cultivos e integra cultivos con ganadería. El objetivo de este estudio fue determinar las características del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, que se asocian con la incorporación de prácticas agroecológicas y evaluar la sostenibilidad de dicho agroecosistema. Se utilizó el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS), se midieron indicadores en 24 unidades de producción de dos localidades mediante una evaluación transversal. Los resultados mostraron que a mayor escala de producción de maíz se incorporó mayor uso de maquinaria y de agroquímicos. En tanto, en superficies menores se registró menor uso de insumos externos y se favoreció la rotación de cultivos, la incorporación de más estiércol al suelo y mayor integración de maíz a la producción pecuaria. Los resultados también mostraron que las unidades de producción estudiadas registran diferentes niveles de sostenibilidad. Los que implementaron de forma más intensiva prácticas agroecológicas registran mayor sostenibilidad al alcanzar el 81%, por encima del 62% de los que lo hicieron con menor intensidad.

Palabras clave: Agroecología, autogestión eficiencia, indicadores, MESMIS, resiliencia.

# **AGROECOLOGICAL PRACTICES AND SUSTAINABILITY OF CORN-MILK PEASANT AGROECOSYSTEM WITH STABLED CATTLE**

Edwin Alfonso Zelaya Benavidez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

One of the main challenges of modern society in constant population growth is to implement a sustainable and highly productive agriculture to feed the entire world. Agroecology provides the knowledge and the necessary method to achieve this challenge through the application of ecological principles. However, it is needed to understand the limits of such principles and their effects in sustainability in different agroecosystems, as in the case of corn-milk peasant agroecosystem with stabled cattle, which use organic manure, crop rotation, and integrates crops with livestock. The aim of this study was to determine the characteristics of corn-milk peasant agroecosystem with stabled cattle, that are associated with agroecological practices implementation and to assess the sustainability of such agroecosystem. Assessment Framework Systems incorporating Natural Resource Sustainability Indicators (MESMIS, in spanish) was used, indicators in 24 production units from two locations were measured using a transversal evaluation. The results showed that on a scale of larger corn production, the use of machinery and chemicals increased. Meanwhile, in smaller areas fewer external inputs, crop rotation, adding more manure to the soil and greater integration of corn to livestock production were favored. The results also showed that production units studied recorded different levels of sustainability. Those which implemented more intensively agroecological practices achieved greater sustainability record at 81%, up from 62% of those which did not.

Keywords: Agroecology, efficiency, indicators, MESMIS, resilience, self-management.

Dedico este trabajo a mi padre Benedicto Zelaya Lazo (q.e.p.d), a mi madre María de Jesús Benavidez Benavidez y a mi hermano Benedicto Zelaya Benavidez, por adelantarse a su época y mostrarme el futuro, por darme su amor en el presente y por enseñarme a caminar y caminar conmigo hacia el futuro.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al pueblo mexicano, por sus impuestos y recursos que pagaron mi beca, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, que canalizó eficientemente dichos impuestos y al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), por facilitar el acceso a la beca brindada; al Colegio de Postgraduados por las facilidades técnicas y académicas de calidad, a los doctores: Benjamín Valeriano Peña Olvera, Ignacio Ocampo Fletes, José Sergio Escobedo Garrido, José Regalado López y Jairo Emilio Rojas Meza, por sus acertadas recomendaciones metodológicas y teóricas; a Vianii Cruz López, por plantear sus hipótesis nulas ante mis divagaciones teóricas y a los campesinos de Santa Ana Xalmimilulco y San Pedro Tlaltenango por la información brindada para realizar este estudio.

## CONTENIDO

	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>10</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.4. HIPÓTESIS.....	16
1.5. METODOLOGÍA .....	16
1.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
<b>II. ESCALA DE PRODUCCIÓN E INCORPORACIÓN DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS EN EL AGROECOSISTEMA CAMPESINO MAÍZ-LECHE CON GANADO ESTABULADO .....</b>	<b>21</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	23
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
2.3. RESULTADOS .....	28
2.4. DISCUSION.....	30
2.5. CONCLUSIONES .....	33
2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33
<b>III. PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS Y SOSTENIBILIDAD DEL AGROECOSISTEMA CAMPESINO MAÍZ-LECHE CON GANADO ESTABULADO.....</b>	<b>42</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	44
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	46
3.3. RESULTADOS .....	51
3.4. DISCUSIÓN.....	53
3.5. CONCLUSIONES .....	60
3.6. AGRADECIMIENTOS .....	60
3.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Características del subsistema agrícola del agroecosistema.....	37
Cuadro 2. Características del subsistema pecuario del agroecosistema.....	38
Cuadro 3. Rendimiento y destino de la producción del agroecosistema.....	39
Cuadro 4. Correlaciones entre las variables del agroecosistema.....	40
Cuadro 5. Caracterización de las formas de manejo del agroecosistema. ....	66
Cuadro 6. Atributos, criterios de diagnóstico, puntos críticos, indicadores y valores óptimos del agroecosistema.....	67
Cuadro 7. Resultados por indicador de sostenibilidad del agroecosistema.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Representación esquemática del agroecosistema.....	36
Figura 2. Comparación de 14 indicadores de sostenibilidad del agroecosistema.....	70

## **I. INTRODUCCIÓN GENERAL**

En este apartado se presenta el planteamiento del problema de investigación, analizando desde un contexto global el problema específico del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado. Se describe la literatura que permitió reflexionar sobre el problema de investigación, los objetivos y las hipótesis. Se expone la metodología utilizada para generar datos. Finalmente se relaciona la bibliografía de referencia.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente el planeta tierra se enfrenta a dos crisis trascendentales para la sobrevivencia de la especie humana: una es el problema del hambre que padecen 795 millones de personas (FAO, FIDA y PMA, 2015); la otra es la debacle de los recursos naturales sobre los cuales se sustenta la producción de alimentos y que se ha visto acrecentada por el exceso en su explotación y aprovechamiento, y por el impacto del cambio climático en los agroecosistemas. De acuerdo al Banco Mundial (2015) se necesita producir al menos un 50% más de alimentos actuales para alimentar a 9,000 millones de personas en el 2050. Sin embargo, el cambio climático podría reducir el rendimiento de los cultivos en más de un 25%. Ante ese escenario, la agroecología propone la aplicación de ciencia ecológica para diseñar y manejar agroecosistemas sostenibles (Gliessman *et al.*, 1998), por medio del estudio de interacciones entre plantas, animales, humanos y ambiente (Dalgaard *et al.*, 2003) provee el conocimiento y el método necesario para desarrollar una agricultura ambientalmente saludable, socialmente aceptable y altamente productiva.

La agroecología aborda el problema del modelo de agricultura imperante desde diversas dimensiones, ya sea como ciencia, como práctica y como movimiento social (Wezel *et al.*, 2009). Como disciplina científica combina la agronomía con la ecología (Toledo *et al.*, 2009), busca imitar los ecosistemas naturales mediante la aplicación de principios ecológicos con el fin de lograr un modelo de agricultura verdaderamente sostenible. Dentro de esos principios están el aumento del reciclaje de energía, reducción de pérdidas de nutrientes, agua y suelo, diversificación arriba y abajo del suelo, aumento de sinergismos entre los componentes de los agroecosistemas y fortalecimiento de procesos biológicos y sociales.

En la práctica, esos principios se implementan por medio del uso de abonos orgánicos, cultivos de cobertura, rotaciones de cultivos, cultivos intercalados, integración de cultivos con ganadería, uso de material genético diverso y aprovechamiento de recursos locales como insumos, energía e información. Socialmente, a través de las formas de organización social colectiva, el manejo ecológico de los recursos locales con saberes campesinos y los intercambios solidarios. Dichos principios ecológicos se enmarcan en diferentes contextos socio-económicos y además de su aplicación agronómica, trascienden hasta las estrategias de vida de las comunidades. Teniendo en cuenta estos elementos, el enfoque agroecológico aplica para la agricultura familiar campesina, implementada en agroecosistemas campesinos alrededor del mundo (Altieri *et al.*, 2015). Para el presente estudio se consideró el concepto de campesino de acuerdo a la definición de Wolf (1975), quien explica que campesino es todo productor para autoconsumo y de excedentes agrícolas que sufre las desventajas de una relación

estructural asimétrica con los dirigentes; en el contexto capitalista, es el mercado el que más beneficios obtiene de dicha relación.

Tal disparidad ha dado pauta a movimientos sociales, en muchas partes del mundo se han enarbolado los principios agroecológicos para dar mayor realce a luchas de campesinos para acceder a tierras, semillas, créditos y mejores condiciones de mercado. Estos campesinos han sido abandonados por los programas públicos, pero curiosamente son ellos los que producen la mayor parte de alimentos para la población mundial, especialmente en países en vías de desarrollo (Nicholls y Altieri, 2010). De acuerdo a la FAO, FIDA y PMA (2015), más del 90% de los 570 millones de explotaciones agrícolas de todo el mundo están dirigidas por una persona o familia y se basan principalmente en la mano de obra familiar y producen más del 80% del total mundial de alimentos.

En este estudio interesa abordar la agroecología como ciencia y como práctica. En ese sentido conviene aclarar que los agroecosistemas son el objeto del conocimiento de la agroecología y la resiliencia sociológica de los mismos, su objeto de estudio (Álvarez-Salas *et al.*, 2014). Existen diversas definiciones de los agroecosistemas, coincidentes entre sí. Los agroecosistemas campesinos son sistemas ecológicos generados por los seres humanos, constituyen fenómenos ecológico-sociológicos dentro de una continua integración de unidades de producción agrícola y ecosistemas naturales (Toledo *et al.*, 2009; Gliessman *et al.*, 1998; Altieri *et al.*, 1987; Conway, 1987). En muchos casos los campesinos ligan la producción de cultivos con la producción animal, lo cual posee bases ecológicas para la producción (Altieri *et al.*, 2015; Altieri y Nicholls, 2012; Wezel *et al.*, 2009). Como ejemplo están los campesinos que usan la producción de maíz para

la alimentación de ganado bovino lechero, como estrategia para hacer frente a los bajos precios que reciben por el grano (Cervantes y Cesín, 2006).

En estos sistemas agropecuarios existen diversas formas de manejo de los recursos. En algunos casos, el manejo convencional de agroecosistemas, con el uso intensivo de agroquímicos y maquinaria ha generado efectos adversos en el medio ambiente e influido en el cambio climático, así como la degradación progresiva de los recursos naturales (Wezel *et al.*, 2009), por lo que se ha planteado la conversión agroecológica de agroecosistemas con manejo convencional (Altieri y Nicholls, 2012). Sin embargo, tal conversión enfrenta tres desafíos: aumento de la eficiencia, sustitución de insumos o sustitución con insumos ambientalmente favorables y rediseño espacial y temporal para acoplar la producción óptima de cultivos con animales y mejorar la sinergia (MacRae *et al.*, 1990).

Lo anterior es posible con la aplicación de prácticas agroecológicas como el manejo orgánico del suelo, la rotación de cultivos y la integración de cultivos con ganadería, entre otras prácticas. Un ejemplo de ello es el agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado, que usa el estiércol del ganado como abono y rota alfalfa con maíz para producir forrajes a partir de recursos locales. No obstante, una limitante clave en la ampliación del uso de la agroecología es la demanda de aplicaciones específicas; pues la alta variabilidad de los procesos ecológicos y sus interacciones con factores culturales, sociales, políticos y económicos generan ecosistemas únicos (Altieri, 2002), por lo que se hace pertinente estudiar diferentes agroecosistemas y sus limitantes en la incorporación de prácticas agroecológicas y el conocimiento de su estado de sostenibilidad. El conocimiento sobre el agroecosistema campesino de maíz-

leche con ganado estabulado, podría generar información para ampliar la conversión agroecológica a otros casos con formas similares de manejo y contribuir a la propuesta de un modelo de agricultura sostenible.

## **1.2. REVISIÓN DE LITERATURA**

Del agroecosistema campesino de maíz-leche se reportan estudios de tipificación de sus niveles tecnológicos (Hernández *et al.*, 2013), así como de la escala de producción manejada (Abrego-Castillo, 2012); Si bien, existen estudios que analizan el estado de sostenibilidad, no se reportan estudios del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado, que analicen las características del agroecosistema asociadas con la incorporación de prácticas agroecológicas. Por otro lado, en las últimas décadas se han realizado investigaciones sobre el estado de la sostenibilidad de agroecosistemas campesinos utilizando el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Astier *et al.* (2012) reportaron el estudio de 40 casos en Latinoamérica, de los cuales 15 fueron analizados en específico para evaluar la selección de indicadores ambientales, sociales y económicos, y el efecto de formas de manejo alternativas en la sostenibilidad de los agroecosistemas. De los casos reportados, uno se realizó en el agroecosistema de maíz-leche en modalidad semi-estabulado; en el cual evaluaron el efecto de dos formas de manejo (Brunett *et al.*, 2005).

Pese a los diversos análisis, no se reportan estudios de sostenibilidad en el sistema estabulado con dos formas de manejo, una forma de manejo en la que implementan prácticas agroecológicas con mayor intensidad como el manejo orgánico del suelo, la rotación de cultivos y la integración de cultivos con ganadería, y otra forma de manejo

en la que incorporan dichas prácticas con menor intensidad y uso de mayor cantidad de fertilizantes inorgánicos, semillas híbridas y maquinaria.

A partir de información de campo se constató que ambas formas de manejo se realizan en un mismo agroecosistema, en el cual la unidad doméstica campesina administra y opera todo el sistema, provee mano de obra y servicios. El subsistema agrícola aporta forrajes y alimentos que se integran para la producción de leche, así como excedentes de cultivos como granos y materia prima al mercado local y regional. El subsistema pecuario aporta alimentos y productos para la venta en el mercado local y regional, ya sea directamente o a través de intermediarios, así como estiércol que se utiliza como abono orgánico en los cultivos. El mercado aporta insumos como fertilizantes inorgánicos que se utilizan de acuerdo a las condiciones socioeconómicas y productivas del agroecosistema, así como semillas, alimentos balanceados, alimentos para la familia, medicinas, servicios y capital, éste último es producto de la venta de servicios, maíz y leche. El sistema también recibe apoyos de instituciones públicas y subsidios para la producción.

La falta de información sobre las características del agroecosistema antes descrito que se relacionan con la incorporación de prácticas agroecológicas, y sobre qué tanto dichas prácticas contribuyen a la sostenibilidad del mismo, representa una laguna en el conocimiento de los agroecosistemas y además constituye un reto para conocer los principios agroecológicos y su posible aplicación a otros sistemas.

### **1.3. OBJETIVOS**

Con base en lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar las características del agroecosistema campesino de maíz-leche que se asocian con la incorporación de

prácticas agroecológicas y evaluar la sostenibilidad. Los resultados de este estudio podrían servir para proponer prácticas de producción más sostenibles a los campesinos, así como contribuir al planteamiento de la agroecología como estrategia de producción de alimentos y como enfoque de investigación participativa.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

A partir de los objetivos antes descritos se plantearon las siguientes hipótesis:

1. La escala de producción del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado se asocia con mayor incorporación de prácticas agroecológicas. Algunos autores como Rigby y Cáceres (2001) señalan que la conversión agroecológica implica producir a pequeña escala y más intensidad de mano de obra. Por otro lado, Altieri (2002) sostiene, que si bien, las prácticas agroecológicas tienen mayor aplicación en pequeña escala, lo que se necesita para ampliar a escalas mayores es entender los principios que explican el funcionamiento de los sistemas de pequeña escala; sin embargo, el mismo autor señala que existe insuficiente investigación para conocer los límites de éstos.

2. La incorporación de estiércol como abono, la rotación de alfalfa e integración de maíz a la producción pecuaria, contribuye a mejorar la sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado. De acuerdo a lo que indica la teoría, la incorporación de prácticas agroecológicas en los agroecosistemas contribuye a mejorar la sostenibilidad de los mismos (Altieri y Nicholls, 2012).

#### **1.5. METODOLOGÍA**

El estudio se realizó entre julio de 2014 y febrero de 2015 en dos localidades de los valles altos de Puebla: Santa Ana Xalmimilulco, perteneciente al municipio de

Huejotzingo y San Pedro Tlaltenango (cabecera municipal del municipio). Ambas tienen vocación agrícola, predominando los cultivos de maíz, frijol, hortalizas, alfalfa, entre otros. Además de la actividad agrícola, se dedican a la producción de leche en la que incorporan la producción agrícola para la alimentación del ganado.

El enfoque usado fue de tipo mixto por manejar información cualitativa y cuantitativa, la investigación fue no experimental de tipo explicativa. Como técnicas se usaron la entrevista, la encuesta, la observación, el muestreo y análisis de suelo, como instrumento se utilizó el cuestionario. Como herramienta metodológica se utilizó el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS), se midieron 14 indicadores en 24 sistemas de producción, con dos formas de manejo productivo, en dos localidades mediante una evaluación transversal.

La información se analizó con el paquete informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, por sus siglas en inglés). Se realizaron pruebas estadísticas inferenciales con la prueba "t" para dos grupos independientes para probar hipótesis acerca de la igualdad de medias de los indicadores, esto cuando la distribución de la varianza fue normal, y con la prueba de Mann-Whitney para dos muestras independientes cuando la distribución de la varianza no fue normal. Para evaluar la normalidad de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilks recomendada para muestras menores a 30. Se elaboró una gráfica de distribución tipo AMEBA por medio del programa Excel para mostrar el comportamiento de los indicadores respecto a sus valores óptimos de sostenibilidad.

## 1.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrego-Castillo, H. 2012. El sistema familiar de producción de leche bovina en el municipio de Nopalucan, Puebla. Tesis (Maestría en Ciencias, especialista en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional).- Colegio de Postgraduados, 2011.
- Altieri, M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93, 1–24.
- Altieri, M.A., Anderson, M.K., Merrick, L.C. 1987. Peasant Agriculture and the Conservation of Crop and Wild Plant Resources. *Conserv. Biol.* 1, 49–58.
- Altieri, M.A., Nicholls, 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16.
- Altieri, M.Á., Nicholls, C.I., 2012. Agroecología: Única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7, 65–83.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 869–890.
- Alvarez-Salas, L.M., Polanco-Echeverry, D.N., Ríos-Osorio, L. 2014. Reflexiones acerca de los aspectos epistemológicos de la agroecología. *Cuad. Desarro. Rural* 11, 20.
- Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Wsquivel, C.E., Masera, O.R. 2012. Assessing the Sustainability of Small Farmer Natural Resource Management Systems. A Critical Analysis of the MESMIS Program (1995-2010). *Ecol. Soc.* 17, 25.
- Banco Mundial, 2015. Seguridad alimentaria: Panorama general. URL <http://www.bancomundial.org/es/topic/foodsecurity/overview> (accessed 8.3.15).

- Brunett, L., C, G.E., A, G.H., L., 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development*, 17, (7) 78.
- Cervantes, F., Cesín, A. 2006. La lechería rural y urbana en México: análisis comparado entre los altos de Jalisco y Xalmimilulco, Puebla., in: *Agroindustria rural y territorio: Nuevas tendencias en el análisis de la lechería*. UAEMEX, México.
- Conway, G.R., 1987. The properties of agroecosystems. *Agric. Syst.* 24, 95–117.
- Dalgaard, T., Hutchings, N.J., Porter, J.R. 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100, 39–51.
- FAO, FIDA y PMA, 2015. El Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos. Food Agric. Organ. U. N. URL <http://www.fao.org/publications/card/es/c/732916a2-ae54-414c-8b3a-30766530797b> (accessed 8.3.15).
- Gliessman, S.R., Engles, E., Krieger, R. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press.
- Hernández, P., Estrada-Flores, J.G., Aviles-Nova, F., Yong-Angel, G., López-Gonzalez, F., Soleds-Mendez, A.D., Castellón-Ortega, O.A. 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Univ. Cienc.* 29, 19.
- MacRae, R.J., Hill, S.B., Mehuys, G.R., Henning, J. 1990. Farm-Scale Agronomic and Economic Conversion from Conventional to Sustainable Agriculture<sup>1</sup>, in: Brady, N.C. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 155–198.

- Nicholls, C.I., Altieri, M.A., 2010. Agroecología, potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Rev. Econ. Crítica* 62–74.
- Rigby, D., Cáceres, D. 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agric. Syst.* 68, 21–40.
- Toledo, V.M., Alarcón-Cháires, P., Barón, L. 2009. Revisualizar lo rural desde una perspectiva multidisciplinaria. *Polis Santiago* 8, 328–345.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515.
- Wolf, E.R., 1975. *Los campesinos*, Segunda ed. Nueva Colección Labor 126. Labor, Barcelona. 150 p.

## **II. ESCALA DE PRODUCCIÓN E INCORPORACIÓN DE PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS EN EL AGROECOSISTEMA CAMPESINO MAÍZ-LECHE CON GANADO ESTABULADO**

Edwin Alfonso Zelaya-Benavidez, Benjamín Valeriano Peña-Olvera, José Sergio Escobedo-Garrido, Ignacio Ocampo-Fletes, José Regalado-López, Jairo Emilio Rojas-Meza

### **Resumen**

Uno de los principales retos de la sociedad en constante crecimiento demográfico es implementar una agricultura sostenible y altamente productiva para alimentar a toda la población mundial. La incorporación en agroecosistemas de prácticas agroecológicas contribuye a producir de manera sostenible y está asociada con la escala de los mismos, sin embargo, no se conocen cuáles características del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, se asocian con dicha incorporación. El objetivo fue determinar las características del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, que se asocian con la incorporación de prácticas agroecológicas. Se usó la entrevista individual y grupal, la encuesta y la observación. Como instrumento se usó el cuestionario estructurado. Se consideraron los elementos tecnológicos y de manejo para caracterizar 24 unidades de producción de dos localidades. Los resultados mostraron que en una escala de producción de maíz mayor, se incorporó mayor uso de maquinaria y de agroquímicos. En tanto, en superficies menores se registró menor uso de insumos externos y se favoreció la rotación de cultivos, la incorporación de más estiércol al suelo y mayor integración de cultivos a la producción pecuaria. La escala de producción del agroecosistema campesino maíz-

leche con ganado estabulado, se asocia con la incorporación de prácticas agroecológicas.

Palabras clave: Abonos orgánicos, Agroecología, eficiencia, rotación de cultivos.

### **Abstract**

One of the main challenges of modern society in constant population growth is to implement a sustainable and highly productive agriculture to feed the entire world population. Agroecology provides the knowledge and the necessary method to achieve this challenge. However, agroecological conversion of conventional production systems involves producing at small scale. To expand to larger scales need to understand the principles that explain the operation of small-scale systems, so it is necessary to develop research to know the scope and limits of such principles as in the case of corn-milk peasant agroecosystem with stabled cattle, which uses organic manure, crop rotation and integrates crops with livestock. The aim of this study was to determine the characteristics of corn-milk peasant agroecosystem with stabled cattle, associated with the implementation of agroecological practices. The techniques used to obtain the data were: individual and group interviews, survey and observation. As an instrument, structured questionnaire was used. Technological and management elements such as generic elements necessary to characterize 24 production units from two locations were considered. The results showed that on a scale of higher corn production, the use of machinery and chemicals increased. Meanwhile, in small areas it was recorded fewer external inputs, as crop rotation and adding more manure to the soil was favored. The scale of production of corn-milk peasant agroecosystem with stabled cattle is associated with agroecological practices implementation.

**Keywords:** Agroecology, crop rotation, efficiency, organic fertilizers.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

La crisis del mundo moderno se relaciona con la constante transgresión de los límites biofísicos del planeta (Toledo *et al.*, 2009); de acuerdo con el Banco Mundial (2015) se necesita producir al menos 50% más de alimentos actuales para alimentar a 9,000 millones de personas en el 2050. Sin embargo, el cambio climático podría reducir el rendimiento de los cultivos en más de 25%. Ante ese escenario, uno de los principales retos de la sociedad es implementar una agricultura sostenible y altamente productiva para alimentar a toda la población mundial (Rigby y Cáceres, 2001; Gliessman *et al.*, 1998). La agroecología responde a ese reto con la aplicación de ciencia ecológica para diseñar y manejar agroecosistemas sostenibles (Gliessman *et al.*, 1998), por medio del estudio de interacciones entre plantas, animales, humanos y ambiente (Dalgaard *et al.*, 2003) la agroecología provee el conocimiento y el método necesario para desarrollar una agricultura ambientalmente saludable, socialmente aceptable y altamente productiva.

Sin embargo, la conversión agroecológica de agroecosistemas con manejo convencional enfrenta tres desafíos: aumento de la eficiencia, sustitución de insumos o sustitución con insumos ambientalmente favorables y rediseño espacial y temporal para acoplar la producción óptima de cultivos con animales y mejorar la sinergia (MacRae *et al.*, 1990). Según Altieri y Nicholls (2012 y 2007) lo anterior es posible con la aplicación de prácticas agroecológicas como el manejo orgánico del suelo, la rotación de cultivos y la mezcla de cultivos y ganadería. Un ejemplo de ello son los agroecosistemas

campesinos maíz-leche que usan el estiércol del ganado como abono y rotan alfalfa con maíz para producir forrajes y granos a partir de recursos locales.

Algunos autores como Rigby y Cáceres (2001) señalan que tal conversión implica producir a pequeña escala y con más intensidad de mano de obra. Por otro lado, Altieri (2002) sostiene que si bien las prácticas agroecológicas tienen mayor aplicación en pequeña escala, lo que se necesita para ampliar a escalas mayores es entender los principios que explican el funcionamiento de los sistemas de pequeña escala. Sin embargo, el mismo autor señala que existe insuficiente investigación para conocer los límites de estos. En ese sentido, una limitante clave en la ampliación del uso de la agroecología es el diseño de aplicaciones específicas, pues la alta variabilidad de los procesos ecológicos y sus interacciones con factores culturales, sociales, políticos y económicos generan ecosistemas únicos (Altieri, 2002), por lo que se hace pertinente estudiar diferentes agroecosistemas y sus limitantes en la implementación de prácticas agroecológicas.

Tal es el caso del agroecosistema campesino maíz-leche del que se reportan estudios de tipificación de sus niveles tecnológicos (Hernández *et al.*, 2013), así como de la escala de producción manejada (Abrego-Castillo, 2012); sin embargo, no se reportan estudios del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, que analicen las características del agroecosistema asociadas con la incorporación de prácticas agroecológicas, como el manejo orgánico del suelo, la rotación de cultivos y la integración de cultivos a la producción pecuaria; por lo que es necesario hacer estudios que aporten información sobre esa relación de variables en este tipo de sistemas, lo

cual constituye un reto para conocer los principios agroecológicos y su posible aplicación a otros sistemas.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar las características del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, que se asocian con la incorporación de prácticas agroecológicas. Los resultados de este estudio podrían servir para diseñar modelos de agroecosistemas sostenibles, así como proponer una hipótesis para futuros estudios sobre qué tanto contribuyen las prácticas agroecológicas a la sostenibilidad del agroecosistema estudiado.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

**Región del estudio.** El estudio se realizó entre julio de 2014 y febrero de 2015 en dos localidades de los valles altos de Puebla: Santa Ana Xalmimilulco, perteneciente al municipio de Huejotzingo y San Pedro Tlaltenango (cabecera municipal del municipio). La primera se ubica entre las coordenadas 19°21'19" latitud norte y 98°38'30" longitud oeste a una altura de 2,220 msnm. Su población es de 16,125 habitantes de los cuales 7,883 son hombres y 8,242 son mujeres (INEGI, 2010). Tiene vocación agrícola y pecuaria, predominando los cultivos de maíz, frijol, hortalizas, alfalfa, entre otros y, además se desarrolla la agroindustria para el procesamiento de la leche que se produce en la mayoría de localidades vecinas. La comunidad está rodeada de actividad industrial producto de la instalación de fábricas textiles en las últimas décadas.

La segunda, se localiza entre las coordenadas 19°12'36" latitud norte y 98°21'36" longitud oeste a una altura de 2,200 msnm; su población es de 5,676 habitantes, de los cuales 2,777 son hombres y 2,899 son mujeres. La principal actividad es la agricultura con 2,316 ha, de las cuales 251 ha son de riego y el resto de temporal. Del total de

tierra agrícola, 1476 ha se trabajan mecanizadas. El maíz es el principal cultivo con 1,800 ha, seguido por alfalfa y frijol con 190 ha cada uno y otros cultivos con 136 ha. (INEGI, 2010).

**Metodología.** El enfoque de la investigación fue mixto (Hernández-Sampieri *et al.*, 2006), siguió un proceso secuencial y probatorio. El diseño fue no experimental y transversal. La investigación fue de tipo explicativa puesto que se estableció la relación causal entre características del agroecosistema y la incorporación de prácticas agroecológicas.

El tipo de muestreo fue no probabilístico o dirigido, se seleccionaron unidades de análisis o casos típicos que se acercaban a la representatividad de la población, en cuanto a sus características de interés (Hernández-Sampieri *et al.*, 2006), estas características fueron: si utilizaban mayor o menor cantidad de fertilizantes inorgánicos en sus cultivos, si aplicaban estiércol como abono orgánico, si hacían rotaciones de cultivos en sus parcelas y si integraban la producción de maíz a la producción de leche. Se eligió este tipo de muestreo porque se desconocía, en el caso de Santa Ana Xalmimilulco, el número de productores que realizaban prácticas agroecológicas en sus sistemas de producción. Se eligieron 12 productores en Xalmimilulco, a quienes se entrevistaron previamente para identificar las características especificadas para el estudio. En San Pedro Tlaltenango se abordaron 12 productores de un grupo de 20 que trabajó con el acompañamiento técnico del Colegio de Postgraduados, cinco de ellos no tenían vacas y tres no mostraron interés en participar.

Las técnicas usadas para obtener los datos y discursos fueron: la entrevista individual y grupal, la encuesta y la observación. Como instrumento se usó el cuestionario estructurado. Se consideraron los elementos tecnológicos y de manejo para caracterizar el agroecosistema por cada localidad, los cuales establecen Masera *et al.* (2000) como los elementos genéricos necesarios para caracterizar agroecosistemas. Dichos elementos constituyeron las variables independientes, las prácticas agroecológicas implementadas constituyeron las variables dependientes.

El objeto de estudio fue el agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado (Figura 1), cuya estructura y funcionamiento en ambas localidades se resume a continuación: los agroecosistemas de maíz-leche estuvieron compuestos por tres subsistemas principales. 1) La unidad doméstica campesina fue el subsistema central, esta administró y operó todo el sistema, proporcionó mano de obra y servicios. 2) El subsistema agrícola aportó forrajes y alimentos, así como excedentes de cultivos como granos y materia prima al mercado local y regional. 3) El subsistema pecuario aportó alimentos y productos para la venta en el mercado local y regional, ya sea directamente o a través de intermediarios, así como estiércol que se utilizó como abono orgánico en los cultivos. El mercado aportó insumos como fertilizantes químicos, semillas, concentrados, alimentos, medicinas, servicios y capital, éste último fue producto de la venta de servicios, maíz y leche. El sistema recibió apoyos de instituciones públicas y subsidios para la producción.

**Análisis estadístico.** Se usó el paquete informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, por sus siglas en inglés) para hacer pruebas estadísticas inferenciales. Se realizaron análisis paramétricos con la prueba “t” para dos grupos independientes,

esto cuando la distribución de la varianza fue normal, y análisis no paramétricos como la prueba de Mann-Whitney para dos muestras independientes cuando la distribución de la varianza no fue normal. Para evaluar la normalidad de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilks recomendada para muestras menores a 30. Se realizó una correlación no paramétrica para explicar la relación entre las variables dependientes e independientes (Siegel y Castellan, 1995).

### 2.3. RESULTADOS

**Características del Subsistema Agrícola.** Se encontraron diferencias significativas en la escala de producción, prácticas de manejo y diversidad de los agroecosistemas estudiados. En Tlaltenango se cultivó mayor superficie de maíz, se realizaron más prácticas de preparación de suelo para siembra de maíz, se aplicó más fertilizante químico a dicho cultivo, se realizaron más riegos en el cultivo de alfalfa al año y se manejó mayor número de híbridos de maíz que en Xalmimilulco. En la primera localidad se cultivaron en promedio 8.58 ha de maíz mientras que en la segunda, 2.63 ha ( $p=0.008$ ). Por otro lado, en Xalmimilulco se aplicó mayor cantidad de estiércol por hectárea, se rotó alfalfa con mayor frecuencia en cada parcela y se realizó mayor número de rotaciones de otros cultivos. En Xalmimilulco la rotación de alfalfa se realizó cada 4.73 años en cada parcela, mientras que en Tlaltenango se realizó cada 13.81 años ( $p=0.002$ ). Los resultados indican que en una escala de producción mayor, con mayor superficie, se incorporó tecnología moderna, con mayor uso de maquinaria y agroquímicos, con más prácticas de preparación del suelo y menor rotación de cultivos. En tanto en superficies menores se registró menor uso de insumos externos como fertilizantes y semillas, y se favoreció la rotación de cultivos y la incorporación de más

estiércol al suelo. Las características del subsistema agrícola se muestran en el Cuadro 1.

**Características del Subsistema Pecuario.** No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la escala de producción y diversidad del subsistema pecuario en ambas localidades; el tamaño del hato en Tlaltenango fue de 23.83 animales entre vacas en producción, becerras y becerros, y en Xalmimilulco fue de 18.83 ( $p=0.664$ ). El subsistema pecuario fue manejado de manera similar en ambas localidades. En ambos casos realizaron inseminación artificial, ordeño mecánico, vitaminación, suplementación con alimentos balanceados y alimentación con forraje de alfalfa, maíz molido y rastrojos de cosechas. Las características del subsistema pecuario se muestran en el cuadro 2.

**Destino de la producción.** Los rendimientos de maíz y leche en ambas localidades no son diferentes, sin embargo, se encontró diferencia significativa en el porcentaje de maíz integrado a la producción de leche, por ejemplo, en Tlaltenango integraron el 51.58% del grano producido, mientras que en Xalmimilulco el 95.83% ( $p=0.001$ ). Lo anterior indica que en Xalmimilulco integraron la mayor parte de la producción de maíz para la producción de leche. El rendimiento y destino de la producción del agroecosistema estudiado se muestran en el cuadro 3.

**Relaciones entre las variables.** El uso de insumos externos aumentó con mayor acceso a programas de apoyo y mayor escala de producción, y disminuyó ante la disponibilidad de mayor cantidad de estiércol. La cantidad de fertilizante aplicado se correlacionó positivamente con programas de apoyo ( $p=0.049$ ), total de tierra que cultiva ( $p=0.036$ ) y las hectáreas de maíz que cultiva (0.003), pero negativamente con la

cantidad de estiércol aplicado ( $p=0.009$ ). Por otro lado, el manejo orgánico del suelo aumentó cuando la escala de la producción disminuyó y cuando el ciclo de rotación de cultivos se acortó, por ejemplo, la cantidad de estiércol aplicado se correlacionó negativamente con el total de tierra cultivada ( $p=0.049$ ), las hectáreas de maíz cultivadas ( $p=0.006$ ), y el ciclo de rotación de alfalfa ( $p=0.0001$ ). En cuanto al ciclo de rotación de cultivos, éste se acortó cuando la escala de producción disminuyó; el ciclo de rotación de alfalfa se correlacionó positivamente con el total de tierra cultivada ( $p=0.004$ ) y las hectáreas de maíz cultivadas ( $p=0.0001$ ). En cuanto a la integración de cultivos a la producción pecuaria, ésta se acopló mejor cuando la escala de producción agrícola fue menor con el mismo tamaño del hato, por ejemplo, el porcentaje de maíz integrado a producción de leche se correlacionó negativamente con el total de tierra cultivada ( $p=0.008$ ) y las hectáreas de maíz cultivadas ( $p=0.002$ ). Los resultados indican que la pequeña escala de producción agrícola se asoció positivamente con el manejo orgánico del suelo, la frecuencia de rotación de cultivos y mayor integración de cultivos a la producción pecuaria en el agroecosistema estudiado. En el cuadro 4 se muestran las correlaciones entre las variables del agroecosistema estudiado.

## **2.4. DISCUSION**

El objetivo de este estudio fue determinar las características del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado, que se asocian con la incorporación de prácticas agroecológicas. Los resultados indican que en una escala de producción de maíz mayor, o sea con mayor superficie, se incorporó tecnología moderna, con mayor uso de maquinaria y agroquímicos, con más prácticas de preparación del suelo y menor rotación de cultivos. En tanto en superficies menores se registró menor uso de

insumos externos como fertilizantes y semillas, y se favoreció la rotación de cultivos y la incorporación de más estiércol al suelo. En el agroecosistema estudiado la pequeña escala de producción agrícola también se asoció positivamente con mayor integración de cultivos a la producción pecuaria.

Las prácticas agroecológicas como el manejo orgánico del suelo, la rotación de cultivos y la integración de cultivos con la producción pecuaria, tienen mayor aplicación en pequeña escala de producción (Altieri, 2002; MacRae *et al.*, 1990). Al respecto, los datos muestran que a una escala de producción agrícola mayor, con mayor superficie, se incorporó tecnología moderna, con mayor uso de maquinaria y agroquímicos, con más prácticas de preparación del suelo y menor rotación de cultivos. En tanto en superficies menores se registró menor uso de insumos externos como fertilizantes y semillas, y se favoreció la rotación de cultivos y la incorporación de más estiércol al suelo. Esto se explica porque en ambos casos la producción total de estiércol fue similar, puesto que manejaron hatos con tamaños similares; sin embargo, la proporción de estiércol aplicada por hectárea aumentó al haber menos tierra disponible. En cuanto a la rotación de alfalfa, la frecuencia fue mayor a menor escala, puesto que las opciones de tierra para rotar el cultivo fueron menores.

La agricultura convencional está construida alrededor de dos metas relacionadas: maximizar rendimientos y ganancias (Gliessman *et al.*, 1998). Para ello se recurre a tecnología moderna que se implementa mediante seis prácticas básicas y que la mayoría se pudieron evidenciar en los sistemas con mayor escala de producción: labranza intensiva, monocultivo, irrigación, uso de fertilizantes inorgánicos, control químico de plagas y manipulación genética de plantas. Si bien no todas están

presentes, ni a la intensidad con que se aplican en grandes sistemas de producción agroindustriales, los rasgos predominantes de ese modelo de producción fueron evidentes.

En el agroecosistema estudiado, la pequeña escala de producción agrícola se asoció positivamente con mayor integración de cultivos a la producción pecuaria, dicha práctica coincide con lo que plantean Altieri (2002) y MacRae *et al.* (1990), que la escala de producción determina la incorporación de prácticas agroecológicas en los sistemas de producción. Lo anterior se explica porque la producción de maíz, en el caso de menor escala de producción, se ajustó mejor a la cantidad de maíz y forraje requerido para la alimentación del ganado manejado, por tanto se integró mayor porcentaje de la producción agrícola a la producción pecuaria, por ejemplo, en Tlaltenango se cultivaron 8.58 ha de maíz, mientras que en Xalmimilulco fueron 2.63 ha, con rendimientos de 5.58 y 3.92 t ha<sup>-1</sup> (p=0.077), respectivamente. En términos absolutos en la primera localidad se produjo mayor cantidad de grano, la cual se vendió como excedente del sistema, además, el porcentaje de maíz integrado a la producción de leche se correlacionó negativamente con el total de tierra cultivada (0.008) y las hectáreas de maíz cultivadas (0.002); por tanto con hatos iguales, en Xalmimilulco incorporaron mayor porcentaje de maíz a la producción de leche que en Tlaltenango. Lo anterior evidencia que el diseño y manejo, consciente o inconsciente, de los sistemas de producción de mayor escala, están orientados a producir mayor cantidad de maíz con fines comerciales, de esa manera se desaprovecha el potencial que tiene el subsistema pecuario para integrar la energía del sistema, y además, agregar mayor valor al grano por medio de la producción de leche.

A partir de las explicaciones anteriores, se concluye que la escala de producción del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado, se asocia con la incorporación de prácticas agroecológicas, las cuales se incorporan de manera más intensiva en pequeñas unidades de producción, y a medida que dicha escala aumenta se tiende más hacia un modelo de agricultura convencional.

## **2.5. CONCLUSIONES**

La escala de producción agrícola del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado, se asocia con la incorporación de prácticas agroecológicas como la aplicación de abono orgánico, la rotación de cultivos y la integración de cultivos a la producción pecuaria, las cuales se incorporan de manera más intensiva en pequeñas unidades de producción, y a medida que dicha escala aumenta se tiende más hacia un modelo de agricultura convencional que hace uso de insumos externos.

Se recomienda la conversión de las unidades de producción de mayor escala, mediante un rediseño espacial de la producción agrícola para ajustarse a los requerimientos del ganado. De esa manera, se reduciría el uso de insumos externos como fertilizantes y semillas híbridas que generan mayor dependencia del agroecosistema estudiado.

## **2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Abrego-Castillo, H., 2012. El sistema familiar de producción de leche bovina en el municipio de Nopalucan, Puebla. Tesis (Maestría en Ciencias, especialista en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional).- Colegio de Postgraduados, 2011.

Altieri, M.A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93, 1–24.

- Altieri, M.A., Nicholls, 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16.
- Altieri, M.Á., Nicholls, C.I., 2012. Agroecología: Única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7, 65–83.
- Banco Mundial, 2015. Seguridad alimentaria: Panorama general. URL: <http://www.bancomundial.org/es/topic/foodsecurity/overview> (accessed 8.3.15).
- Dalgaard, T., Hutchings, N.J., Porter, J.R., 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100, 39–51.
- Gliessman, S.R., Engles, E., Krieger, R., 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press.
- Hernández, P., Estrada-Flores, J.G., Aviles-Nova, F., Yong-Angel, G., López-Gonzalez, F., Soleds-Mendez, A.D., Castellón-Ortega, O.A., 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Univ. Cienc.* 29, 19.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C, Baptista, P. 2006. *Metodología de la investigación*. Cuarta. ed. Mac Grow-Hill Interamericana, México. 705 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. México en cifras: información nacional, por entidad federativa y por municipio. URL <http://www.inegi.org.mx/default.aspx> (accessed 5.16.15).
- MacRae, R.J., Hill, S.B., Mehuys, G.R., Henning, J. 1990. Farm-Scale Agronomic and Economic Conversion from Conventional to Sustainable Agriculture<sup>1</sup>, in: Brady, N.C. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 155–198.
- Masera, O., Astier, Martha, Lopez-Ridaura, Santiago, 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. México DF, México.

- Rigby, D., Cáceres, D. 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agric. Syst.* 68, 21–40.
- Siegel, S., Castellan, N.J. 1995. *Estadística no paramétrica: aplicada a ciencias de la conducta*, Cuarta edición. ed. Trillas, México. 437 p.
- Toledo, V.M., Alarcón-Cháires, P., Barón, L. 2009. Revisualizar lo rural desde una perspectiva multidisciplinaria. *Polis Santiago* 8, 328–345.

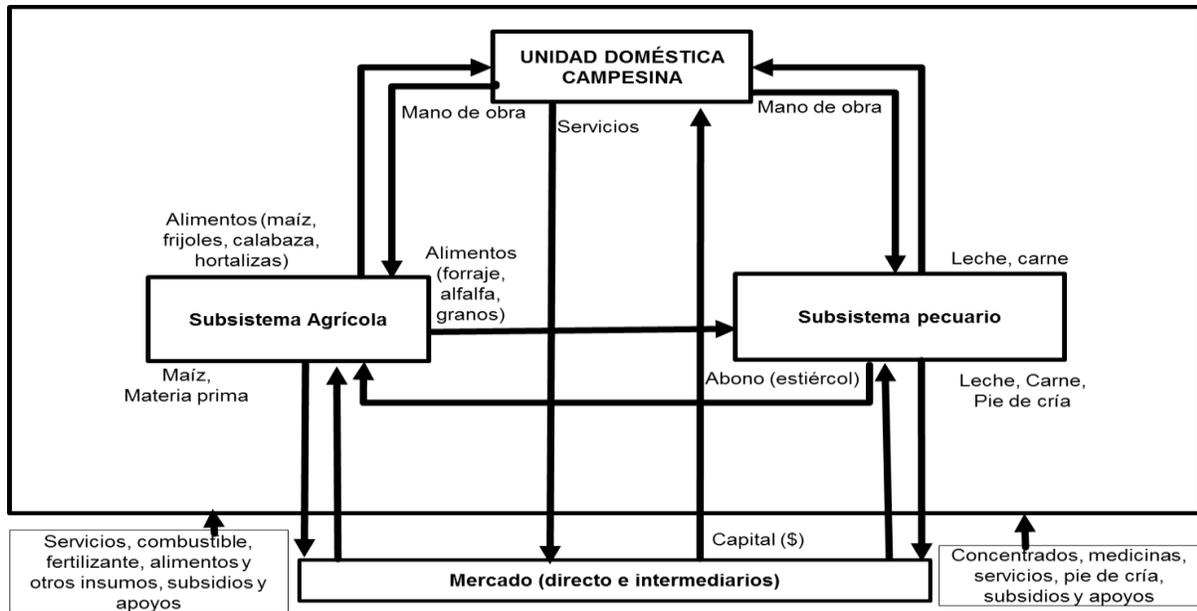


Figura 1. Representación esquemática del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 1. Características del subsistema agrícola del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

Localidad	Escala de la producción				Prácticas de manejo				Diversidad				
	TC (ha)	TR (ha)	MC (ha)	AC (ha)	NPPSM	EAA (t ha <sup>-1</sup> )	FAM (t ha <sup>-1</sup> )	CRA (años)	NRC	RAA	NEC	NVMN	NHM
T Media	11.17 a	2.00 A	8.58 a	2.50 a	4.50 a	31.95 b	0.46 a	13.81 a	1.25 b	8.08 a	3.75 a	1.58 a	2.50 a
DE	8.22	2.09	6.94	1.62	0.90	22.82	0.06	7.50	0.87	7.18	1.48	1.08	0.80
X Media	5.17 b	2.46 A	2.63 b	2.54 a	3.25 b	79.16 a	0.18 b	4.73 b	2.17 a	2.08 b	3.50 a	1.00 a	1.17 b
DE	2.21	2.20	1.57	1.21	0.75	47.04	0.15	3.28	0.83	2.19	1.00	0.74	1.11
P	0.024	0.606	0.008	0.944	0.003	0.004	0.001	0.002	0.023	0.016	0.635	0.103	0.005
Sig.	*	ns	**	ns	**	**	**	**	*	**	ns	ns	**

Nota: TC= Tierra Cultivada. TR: Tierra Rentada. MC= Maíz Cultivado. AC= Alfalfa Cultivada. NPPSM= Número de Prácticas de Preparación del Suelo en Maíz. EAA= Estiércol Aplicado al Año. FAM= Fertilizante Aplicado al Maíz. CRA= Ciclo de Rotación de Alfalfa. NRC= Número de Rotaciones de Cultivos. RAA= Riegos en Alfalfa al Año. NEC= Número de Especies de Cultivos. NVMN= Número de Variedades de Maíz Nativo. NHM= Número de Híbridos de Maíz. T: San Pedro Tlaltenango, X: Santa Ana Xalmimilulco. DE= Distribución Estándar. <sup>ab</sup> letras distintas indican diferencias significativas. \*Diferencia al nivel de  $p < 0.05$ , \*\*diferencia al nivel de  $p < 0.001$ , <sup>ns</sup> la diferencia no es significativa.

Cuadro 2. Características del subsistema pecuario del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

Localidad		Escala de la producción		Diversidad	
		TH	PLVD (L)	NEAM	NRBM
T	Media	23.83 a	16.75 a	3.50 a	1.50 a
	DE	17.05	5.20	1.51	0.67
X	Media	18.83 a	20.87 a	3.25 a	1.33 a
	DE	11.73	10.27	0.97	0.65
p		0.664	0.345	0.450	0.444
Sig.		ns	ns	ns	ns

Nota: TH= Tamaño del Hato. PLVD= Producción de Leche por Vaca al Día. NEAM= Número de Especies de Animales Manejados. NRBM= Número de Razas de Bovinos Manejados. T: San Pedro Tlaltenango, X: Santa Ana Xalmimilulco. DE= Distribución Estándar. <sup>ab</sup> letras distintas indican diferencias significativas. \*Diferencia al nivel de  $p < 0.05$ , \*\*diferencia al nivel de  $p < 0.001$ , <sup>ns</sup> la diferencia no es significativa.

Cuadro 3. Rendimiento y destino de la producción del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

Localidad		Rendimiento			Destino de la producción	
		Maíz (t ha <sup>-1</sup> )	PLVD (L)	DAH1A	MIPL (%)	LV (%)
T	Media	5.58 a	16.75 a	25.20 a	51.58 b	97.01 a
	DE	1.79	5.21	15.30	29.22	1.64
X	Media	3.92 a	20.88 a	23.40 a	95.83 a	96.67 a
	DE	2.55	10.28	11.78	14.43	2.5471
p		0.077	0.228	0.751	0.001	0.697
Sig.		ns	ns	ns	**	ns

Nota: PLVD= Producción de Leche por Vaca por Día. DAH1A= Días que Alimenta el Hato con 1 ha de Alfalfa. MIPL= Maíz Integrado a la Producción de Leche. LV= Leche Vendida. T: San Pedro Tlaltenango, X: Santa Ana Xalmimilulco. DE= Distribución Estándar. <sup>ab</sup> letras distintas indican diferencias significativas. \*Diferencia al nivel de  $p < 0.05$ , \*\*diferencia al nivel de  $p < 0.001$ , <sup>ns</sup> la diferencia no es significativa.

Cuadro 4. Correlaciones entre las variables del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

Correlaciones		Edad	Esc.	PPA	TC (ha)	MC (ha)	RM (t ha <sup>-1</sup> )	MIPL (%)	FA (t ha <sup>-1</sup> )	EA (t ha <sup>-1</sup> )	CRA (años)
Edad	CC.	1.000	-.598**	0.261	.702**	.536**	0.359	-.418*	0.256	(0.349)	0.394
	Sig.		0.002	0.217	0.000	0.007	0.085	0.042	0.227	0.095	0.057
Esc.	CC.	-.598**	1.000	0.015	(0.366)	(0.321)	(0.112)	.085	(0.228)	0.351	(0.313)
	Sig.	0.002		0.943	0.079	0.126	0.602	0.693	0.283	0.093	0.136
PPA	CC.	0.261	0.015	1.000	.430*	0.364	0.031	-.544**	.406*	(0.147)	0.354
	Sig.	0.217	0.943		0.036	0.081	0.887	0.006	0.049	0.492	0.090
TC (ha)	CC.	.702**	(0.366)	.430*	1.000	.900**	0.228	-.530**	.431*	-.407*	.570**
	Sig.	0.000	0.079	0.036		0.000	0.284	0.008	0.036	0.049	0.004
MC (ha)	CC.	.536**	(0.321)	0.364	.900**	1.000	0.227	-.592**	.577**	-.541**	.673**
	Sig.	0.007	0.126	0.081	0.000		0.285	0.002	0.003	0.006	0.000
RM (t ha <sup>-1</sup> )	CC.	0.359	(0.112)	0.031	0.228	0.227	1.000	-.458*	.581**	(0.047)	0.163
	Sig.	0.085	0.602	0.887	0.284	0.285		0.025	0.003	0.828	0.448
MIPL (%)	CC.	.418*	(0.085)	.544**	.530**	.592**	.458*	1.000	.815**	-.494*	.582**
	Sig.	0.042	0.693	0.006	0.008	0.002	0.025		0.000	0.014	0.003
FA (t ha <sup>-1</sup> )	CC.	0.256	(0.228)	.406*	.431*	.577**	.581**	-.815**	1.000	-.524**	.661**
	Sig.	0.227	0.283	0.049	0.036	0.003	0.003	0.000		0.009	0.000
EAA (t ha <sup>-1</sup> )	CC.	(0.349)	0.351	(0.147)	-.407*	-.541**	(0.047)	.494*	-.524**	1.000	-.719**
	Sig.	0.095	0.093	0.492	0.049	0.006	0.828	0.014	0.009		0.000
CRA (años)	CC.	0.394	(0.313)	0.354	.570**	.673**	0.163	-.582**	.661**	-.719**	1.000
	Sig.	0.057	0.136	0.090	0.004	0.000	0.448	0.003	0.000	0.000	

Nota: Esc.= Escolaridad. PPA= Participación en Programas de Apoyo. TC= Tierra Cultivada. MC= Maíz Cultivado. RM= Rendimiento de Maíz. MIPL= Maíz Integrado a la Producción de Leche. FA= Fertilizante Aplicado. EAA= Estiércol Aplicado al Año. CRA= Ciclo de Rotación de Alfalfa. n=24. CC.= Coeficiente de Correlación. Sig.= significancia. \*\* Correlación significativa al nivel 0.01.\* Correlación significativa al nivel 0.05.



### **III. PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS Y SOSTENIBILIDAD DEL AGROECOSISTEMA CAMPESINO MAÍZ-LECHE CON GANADO ESTABULADO**

Edwin Alfonso Zelaya-Benavidez, Benjamín Valeriano Peña-Olvera, Ignacio Ocampo-Fletes, José Sergio Escobedo-Garrido, José Regalado-López, Jairo Emilio Rojas-

Meza

#### **Resumen**

La creciente población mundial demanda mayor producción de alimentos de manera sostenible para mitigar, tanto el hambre, como el efecto del cambio climático en la agricultura. Las prácticas agroecológicas contribuyen a mejorar la sostenibilidad de los agroecosistemas. Sin embargo, se necesitan más estudios, por lo que el objetivo fue evaluar la sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado. Se planteó la hipótesis que los agroecosistemas que emplean más prácticas agroecológicas tienden más a la sostenibilidad. Para acopiar datos se utilizó la encuesta. Como herramienta se utilizó el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS); se evaluaron 14 indicadores en 24 unidades de producción de dos localidades mediante una evaluación transversal. Se comparó el Sistema Tendiente a Orgánico (STO) con el Sistema Tendiente a Industrial (STI). Los resultados muestran que el STO utilizó más prácticas agroecológicas y se acercó más a los valores óptimos de sostenibilidad al alcanzar 81%, por arriba del 62% del STI que incorporó en menor medida esas prácticas. Se encontraron diferencias significativas en los indicadores: contenido de materia orgánica del suelo, el intervalo de rotación

de alfalfa en cada parcela, maíz integrado a la producción de leche, independencia de fertilizantes químicos aplicados y la independencia de programas de apoyo. Se concluye que el STO es más sostenible debido a que utiliza más prácticas agroecológicas en relación al STI.

Palabras clave: Agroecología, autogestión, indicadores, MESMIS, resiliencia.

### **Abstract**

The growing world population demands more food production in a sustainable way to mitigate both hunger, as the effect of climate change on agriculture. Agroecological practices contribute to improve the sustainability of agroecosystems. However, more studies are needed, so that the objective was to assess the sustainability of corn-milk peasant agroecosystem with stabled cattle. The hypothesis was that agroecosystems implementing agroecological practices tended to be more sustainable. Survey was used to collect data. As a tool Assessment Framework Systems incorporating Natural Resource Sustainability Indicators (MESMIS in spanish) was used; 14 indicators in 24 production units in two locations were evaluated by a transversal evaluation. System Tending to Organic (STO) was compared with System Tending to Industrial (STI). The results show that STO used more agroecological practices and moved closer to the optimum values of sustainability to reach 81%, up from 62% of STI with lesser extent incorporation of these practices. Significant differences were found in indicators of Organic matter content of soil, alfalfa rotation interval in each plot, integrated corn to milk production, independence of chemical fertilizers applied and

independence of support programs. It is concluded that STO is more sustainable because it uses more agroecological practices in relation to STI.

.Keywords: Agroecology, indicators, MESMIS, resilience, self-management.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas campesinos son sistemas ecológicos generados por los seres humanos, constituyen fenómenos ecológico-sociológicos dentro de una continua integración de unidades de producción agrícola y ecosistemas naturales (Toledo *et al.*, 2009; Gliessman *et al.*, 1998; Altieri *et al.*, 1987; Conway, 1987), la mayoría son manejados por campesinos (Nicholls y Altieri, 2010). De acuerdo a la FAO, FIDA y PMA (2015), más del 90% de los 570 millones de explotaciones agrícolas de todo el mundo se basan principalmente en la mano de obra familiar y producen más del 80% del total mundial de alimentos. En muchos casos los campesinos ligan la producción de cultivos con la producción animal, lo cual posee bases ecológicas para la producción agrícola (Altieri *et al.*, 2015; Altieri y Nicholls, 2012; Wezel *et al.*, 2009). Un ejemplo claro son los campesinos que usan la producción de maíz para la alimentación de ganado bovino lechero, como estrategia para hacer frente a los bajos precios que reciben por el grano, por medio de la venta de leche (Cervantes y Cesín, 2006).

En estos sistemas agropecuarios existen diversas formas de manejo de los recursos. En algunos casos, el uso intensivo de agroquímicos y maquinaria ha generado efectos adversos en el medio ambiente e influido en el cambio climático, así como la degradación progresiva de los recursos naturales, por lo que se han planteado

formas de producción más sostenibles (Wezel *et al.*, 2009) con el fin de garantizar la producción de alimentos para las generaciones actuales sin afectar la capacidad de las generaciones futuras para hacer lo mismo (Harlem y Khalid, 1988; WCED, 1987). La agroecología ha contribuido a reforzar dicho planteamiento al abordar los aspectos ambientales, sociales y económicos de la agricultura, a la vez que propone agroecosistemas más resilientes (Altieri y Nicholls, 2012; Toledo *et al.*, 2009).

Algunas prácticas como la rotación de cultivos, el manejo orgánico del suelo, y la integración de cultivos con ganadería, se basan en principios agroecológicos como el reciclaje de biomasa, mejoramiento de las condiciones del suelo, fortalecimiento de la inmunidad de los cultivos, disminución de pérdidas de energía, agua y nutrientes, diversificación de especies y aumento de interacciones biológicas entre los componentes del sistema (Altieri y Nicholls, 2012). Sin embargo, para conocer si esas prácticas contribuyen a producir de manera sostenible es necesario conocer el estado de la sostenibilidad de los agroecosistemas e identificar los indicadores que presentan deficiencias y que se deben mejorar (Masera *et al.*, 2000).

En ese sentido, en las últimas décadas se han realizado investigaciones sobre el estado de la sostenibilidad de agroecosistemas campesinos utilizando el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS). Astier *et al.* (2012), reportaron el estudio de 40 casos en Latinoamérica, de los cuales 15 fueron analizados en específico para evaluar la selección de indicadores ambientales, sociales y económicos, y el efecto de formas de manejo alternativas en la sostenibilidad de los agroecosistemas. De los casos reportados, uno se realizó en el agroecosistema maíz-leche en modalidad semi-

estabulado, en el cual evaluaron el efecto de dos formas de manejo (Brunett *et al.*, 2005). Sin embargo, no se reportan estudios de sostenibilidad en el sistema estabulado con dos formas de manejo: una con prácticas agroecológicas con mayor intensidad como el manejo orgánico del suelo, la rotación de cultivos y la integración de cultivos con ganadería, y la otra en la que incorporan dichas prácticas con menor intensidad y además usan mayor cantidad de fertilizantes inorgánicos.

Con base en lo anterior se realizó este estudio, con el objetivo de evaluar la sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, en dos formas de manejo, con la hipótesis que la incorporación de prácticas agroecológicas en dicho agroecosistema contribuye a mejorar la sostenibilidad del mismo. Los resultados de este estudio podrían servir a los formuladores de estrategias de producción sostenibles, así como sugerir una hipótesis que requerirá más investigación en relación a cuánto tiempo podrían sostenerse el agroecosistema estudiado.

### **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

**Región del estudio** El estudio se realizó entre julio de 2014 y febrero de 2015 en dos localidades de los valles altos de Puebla: Santa Ana Xalmimilulco, perteneciente al municipio de Huejotzingo y San Pedro Tlaltenango (cabecera municipal del municipio). La primera se ubica entre las coordenadas 19°21'19" latitud norte y 98°38'30" longitud oeste a una altura de 2,220 msnm. Su población es de 16,125 habitantes de los cuales 7,883 son hombres y 8,242 son mujeres (INEGI, 2010). Tiene vocación agrícola y pecuaria, predominando los cultivos de maíz, frijol,

hortalizas, alfalfa, entre otros y, además se desarrolla la agroindustria para el procesamiento de la leche que se produce en la mayoría de localidades vecinas. La comunidad está rodeada de actividad industrial producto de la instalación de fábricas textiles en las últimas décadas.

La segunda, se localiza entre las coordenadas 19°12'36" latitud norte y 98°21'36" longitud oeste a una altura de 2,200 msnm; su población es de 5,676 habitantes, de los cuales 2,777 son hombres y 2,899 son mujeres. La principal actividad es la agricultura con 2,316 ha, de las cuales 251 ha son de riego y el resto de temporal. Del total de tierra agrícola, 1476 ha se trabajan mecanizadas. El maíz es el principal cultivo con 1,800 ha, seguido por alfalfa y frijol con 190 ha cada uno y otros cultivos con 136 ha. (INEGI, 2010).

**Metodología.** El enfoque de la investigación fue mixto porque se recolectó, analizó y vinculó datos cuantitativos y cualitativos, con dominancia del tipo cuantitativo (Hernández-Sampieri *et al.*, 2006), se siguió un proceso secuencial y probatorio. El diseño fue no experimental y transversal. La investigación fue de tipo explicativa, puesto que se estableció la relación causal entre la implementación de prácticas agroecológicas en los agroecosistemas y la sostenibilidad de éstos (Hernández-Sampieri *et al.*, 2006).

El tipo de muestreo fue no probabilístico o dirigido. Se seleccionaron unidades de análisis o casos típicos que se acercaban a la representatividad de la población, en cuanto a sus características de interés (Hernández-Sampieri *et al.*, 2006). Estas características fueron: 1) si utilizaban mayor o menor cantidad de fertilizantes

inorgánicos en sus cultivos, 2) si aplicaban estiércol como abono orgánico, 3) si hacían rotaciones de cultivos en sus parcelas y 4) si integraban la producción de maíz a la producción de leche. Se eligió este tipo de muestreo porque se desconocía, en el caso de Santa Ana Xalmimilulco, el número de productores que realizaban prácticas agroecológicas en sus sistemas de producción. Se eligieron 12 productores en Xalmimilulco, a quienes se entrevistaron previamente para identificar las características especificadas para el estudio. En San Pedro Tlaltenango se entrevistaron 12 productores de un grupo de 20 que trabajó con el acompañamiento técnico del Colegio de Postgraduados, cinco de ellos no tenían vacas y 3 no aceptaron participar.

Se midieron 14 indicadores en 24 unidades de producción de las dos localidades del estudio. El mismo número de unidades de producción fue usado por Brunett *et al.* (2005) en un estudio similar. Las técnicas usadas para obtener los datos fueron, para los indicadores sociales, la entrevista individual y grupal, la encuesta (cuestionario estructurado) y la observación, y para los indicadores técnicos el muestreo y análisis de fertilidad de suelos con base en la guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo (USDA, 1999). Como herramienta metodológica para la medición de los indicadores se usó el MESMIS descrito por Masera *et al.* (2000), que se basa en los siguientes pasos: 1) determinación del objeto de estudio, 2) determinación de los puntos críticos del sistema, 3) selección de criterios de diagnóstico e indicadores estratégicos, 4) medición y monitoreo de indicadores, 5) presentación e integración de resultados, y 6) conclusiones y recomendaciones del sistema y del proceso mismo de evaluación. Esta herramienta ha sido usada en varios estudios para

evaluar la sostenibilidad de agroecosistemas campesinos (López-Ridaura *et al.*, 2002; Astier *et al.*, 2011).

Para esta investigación, el objeto de estudio fue el agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado, constituido por unidades de producción bajo dos formas de manejo (Cuadro 1). Se determinó que las unidades de producción en las que se aplicaron prácticas agroecológicas con mayor intensidad, fueron el Sistema Tendientes a Orgánico (STO), denominado también como el sistema alternativo, ubicado en Santa Ana Xalmimilulco, y en las que se aplicaron con menor intensidad y además usaron mayor cantidad de fertilizantes químicos, fueron el Sistema Tendiente a industrial (STI) o sistema de referencia, ubicado en San Pedro Tlaltenango.

**Variabes.** La variable dependiente fue la sostenibilidad del agroecosistema y las independientes fueron las prácticas agroecológicas. La sostenibilidad fue definida y medida por un grupo de indicadores con alcances óptimos de sostenibilidad, valorados a su vez por atributos de sostenibilidad. Estos indicadores fueron medidos directamente en campo en los casos que fue posible por las condiciones ambientales y de logística del estudio, o bien se estimaron indirectamente por medio de información de los productores según lo recomiendan Masera *et al.* (2000). El MESMIS plantea los siguientes atributos: productividad, adaptabilidad, estabilidad (incluye resiliencia y confiabilidad), equidad y autogestión (o autodependencia).

**Indicadores.** Se tomaron en cuenta indicadores sociales, económicos y ambientales para abordar el carácter multidimensional de la sostenibilidad (Cuadro 2). Los valores

obtenidos de los indicadores fueron ponderados con relación al valor óptimo de sostenibilidad de cada indicador, el cual representó el 100%. Los valores óptimos se calcularon con base en datos del agroecosistema en sus dos formas de manejo, considerando la escala temporal (8 meses) y espacial (de 5 a 11 ha), así como las condiciones socio ambientales específicas del mismo (Masera *et al.*, 2000). Se consideraron tres importantes dimensiones de la sostenibilidad: resiliencia ecológica, viabilidad económica y equidad social (Altieri y Nicholls, 2012; Masera *et al.*, 2000; Gliessman *et al.*, 1998). Los valores ponderados de los indicadores fueron promediados para calcular el valor global de alcance de la sostenibilidad del agroecosistema.

**Análisis estadístico.** La información se analizó con el paquete informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, por sus siglas en inglés). Para probar hipótesis acerca de la igualdad de medias de los indicadores se realizaron pruebas estadísticas inferenciales con la prueba “t” para dos grupos independientes, esto cuando la distribución de la varianza fue normal, y con la prueba de Mann-Whitney para dos muestras independientes cuando la distribución de la varianza no fue normal. Para evaluar la normalidad de los datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilks recomendada para muestras menores a 30 (Siegel y Castellan, 1995). Se elaboró una gráfica de distribución tipo AMEBA por medio del programa Excel para mostrar el comportamiento de los indicadores respecto a sus valores óptimos.

### 3.3. RESULTADOS

**Comportamiento de los indicadores.** El STO obtuvo mejores valores de indicadores y atributos de sostenibilidad respecto al STI. Se encontraron diferencias significativas en los indicadores del contenido de materia orgánica del suelo, el intervalo de rotación de alfalfa en cada parcela, maíz integrado a la producción de leche, independencia de fertilizantes químicos aplicados y la independencia de programas de apoyo. En el STO el contenido de materia orgánica fue 1.35% y en el STI fue 0.78% ( $p=0.003$ ). En el STO los atributos productividad, estabilidad y autogestión muestran mejor sostenibilidad respecto al STI. Aunque no hubo diferencias significativas, la productividad fue mejor en el STO en relación al STI, por ejemplo, el costo de producción de 1 litro de leche en el STO fue de \$6.74, en cambio en el STI fue de \$7.36. El atributo de adaptabilidad medido por medio de la percepción de la continuidad del sistema, fue similar en ambos casos, puesto que obtuvieron valor superior a 7. El atributo de estabilidad (confiabilidad y resiliencia) presentó mejores valores en el STO en relación al STI, tres de los cinco indicadores medidos para este atributo presentaron mejores valores, la mayoría de tipo ambiental y económico, por ejemplo, el maíz integrado a la producción de leche en el STO fue 95.83%, en cambio en el STI fue de 51.58% ( $p=0.001$ ). El atributo equidad presentó valores similares en ambos casos, por ejemplo, más de 3 miembros de la familia en promedio tuvieron empleo directo en el agroecosistema estudiado. En cuanto al atributo de autogestión (o autodependencia), los mejores valores los obtuvo el STO respecto al STI, por ejemplo, en el STO se encontró mayor independencia de insumos y de apoyos externos; aunque en ambos casos no lograron cubrir sus

costos de producción, incluyendo los costos de mano de obra, lograron cubrir sus gastos de alimentación familiar, por ejemplo, el STI dependió de mayor cantidad de fertilizantes inorgánicos al usar  $0.46 \text{ t ha}^{-1}$ , en cambio el STO usó  $0.18 \text{ t ha}^{-1}$  ( $p=0.001$ ). Los resultados indican que la incorporación de prácticas agroecológicas de manera más intensiva, como en el STO, mejora los valores de indicadores y atributos de sostenibilidad del agroecosistema. En el cuadro 3 se muestran los resultados por cada indicador del agroecosistema estudiado.

**Estado de la sostenibilidad.** Los resultados mostraron que los sistemas registran diferencias en el estado de sostenibilidad, el que implementó de forma más intensiva las prácticas agroecológicas, o sea, el STO se acercó más al óptimo de sostenibilidad al alcanzar el 81%, por encima del 62% del STI. Los resultados de indicadores económicos, sociales y ambientales se aproximaron más al óptimo de sostenibilidad en el STO en relación al STI, por ejemplo, la independencia de fertilizantes y mayor producción de leche por vaca por día influyeron directamente en los costos de producción y en la cobertura de los mismos, respectivamente. De igual manera, el acceso de los productores a programas de apoyo aumentó su dependencia de fertilizantes, cuyo uso aumentó los costos de producción. Los resultados indican que la incorporación de prácticas agroecológicas de manera más intensiva, como en el STO, contribuye a mejorar la sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado. En la Figura 1 se muestra la tendencia de los indicadores respecto de los valores óptimos de sostenibilidad del agroecosistema estudiado.

### 3.4. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue evaluar el la sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado en dos formas de manejo. Los resultados indican que el sistema que incorporó prácticas agroecológicas de manera más intensiva, como el STO, obtuvo mejores valores en la mayoría de indicadores y mejoró sus atributos de sostenibilidad, además que se acercó más al óptimo de sostenibilidad al alcanzar el 81%, por encima del 62% cuando se incorporaron menos prácticas agroecológicas. Por tanto, las prácticas agroecológicas contribuyen a mejorar la sostenibilidad del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado.

Se argumenta que son más sostenibles los agroecosistemas en los que se incorporan principios agroecológicos como el mejoramiento de la calidad del suelo por medio de prácticas como la aplicación de estiércoles, el manejo del hábitat temporal y espacial por medio de la rotación de cultivos y mejoramiento de la sinergia por medio de la integración de cultivos con ganadería (Altieri y Nicholls, 2012). Los resultados muestran que el sistema que incorporó prácticas agroecológicas de manera más intensiva, como el STO, obtuvo mejores valores en la mayoría de indicadores y mejoro sus atributos de sostenibilidad.

En cuanto a los indicadores, mayor uso de estiércol como abono, mayor frecuencia de rotación de cultivos en las parcelas y mayor integración del maíz a la producción pecuaria, muestran más fortalezas para la sostenibilidad del agroecosistema; el contenido de materia orgánica del suelo fue mayor en el sistema en el que se

implementaron dichas prácticas con mayor intensidad en comparación con aquél en el que no. Dicho indicador evidencia la mejora en la salud del suelo, el cual es uno de los componentes más importantes para la producción agrícola del sistema. La mejora en el contenido de materia orgánica en el suelo se explica porque a mayor cantidad de estiércol aplicado, mayor carbono se incorpora al suelo. El carbono contenido en el estiércol que se recicla en las parcelas, es energía que se mantiene dentro del sistema, éste se incorpora gracias a la actividad de microorganismos del suelo que degradan las biomoléculas y biopolímeros hasta liberar el carbono, que luego es mineralizado por hongos y actinomicetos para formar el humus (Primavesi, 1984), coloide del suelo que mejora las características físicas, químicas y biológicas del mismo.

Los beneficios de ese proceso de reciclaje son diversos. Rivera-Cruz *et al.* (2013) estudiaron la incorporación de estiércol de gallinas como fertilizante orgánico en el suelo, descubrieron que el contenido de nitrógeno y la actividad de bacterias reguladoras del crecimiento vegetal en el mismo aumentan. Por su parte, Olivares-Campos *et al.* (2012) estudiaron el efecto de lombri-composta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores del suelo, encontraron que se obtienen mejores condiciones de materia orgánica y concentración de macronutrientes en los suelos fertilizados con dichos materiales.

En cuanto a la alfalfa, esta especie es un cultivo perenne que permite mantener el suelo sin roturación mecánica por el tiempo que dura su ciclo de más de 4 años, esto ayuda a aumentar y estabilizar la actividad biológica del mismo, lo cual permite la degradación de la materia orgánica y consiguiente formación de humus. Además, fija

nitrógeno por ser una leguminosa que establece una simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* (Ghosh *et al.*, 2012, Howieson *et al.*, 2000), a este respecto, García-Plazaola *et al.* (1999) descubrieron que las plantas de alfalfa tienen la habilidad para usar, simultáneamente, nitrato y nitrógeno atmosférico por medio de la simbiosis antes mencionada, lo cual tiene importancia agronómica puesto que mejora la fertilidad del suelo, además que incorpora energía atmosférica al agroecosistema en forma del nitrógeno fijado. Por otro lado, la cobertura del suelo con el follaje de alfalfa disminuye la evaporación al evitar el contacto directo de los rayos solares con este, lo cual ayuda a retener humedad en el suelo. También, el crecimiento radical de las plantas de alfalfa junto con la actividad de organismos como lombrices de tierra y artrópodos, mejora la estructura, aireación e infiltración de agua en el suelo. Por ejemplo, Flores-Pardavé *et al.* (2011) descubrieron que la incorporación de residuos orgánicos a suelos cultivados con alfalfa, mejora su estructura y aumenta la actividad de colémbolos benéficos para la salud del mismo.

Respecto a los atributos de los agroecosistemas, Conway (1987) explica que a diferencia de un organismo individual cuyo objetivo es crecer, reproducirse, mantenerse y sobrevivir, en el caso de los agroecosistemas que tienen un valor social, sus atributos están en función de la cantidad de bienes y servicios producidos, de las relaciones de los mismos con las necesidades humanas (o felicidad humana) y sus asignaciones dentro de la población. Este análisis adquiere un carácter multidimensional, inherente al proceso de apropiación de la naturaleza, tal como lo describen Toledo *et al.* (2009) dicho proceso se lleva a cabo por medio de relaciones ecológicas entre el hombre y la naturaleza, y de relaciones económicas al socializar

la producción con quienes no producen. No obstante, la sostenibilidad de dicho proceso está determinada por el cumplimiento de principios ecológicos que lo rigen y por tanto tiene límites. De acuerdo con Moore (2015), la sostenibilidad de un modelo de prosperidad o desarrollo debe tomar en cuenta bienestar, autonomía, administración del medio ambiente, lazos sociales y culturas, por lo que es necesario un análisis de los atributos que aborde esas temáticas dentro de los agroecosistemas.

En el presente estudio la sostenibilidad fue analizada por cada atributo. La productividad del sistema tendiente a orgánico fue mejor, el costo de producción de un litro de leche fue de \$6.74, en cambio en el sistema tendiente a industrial fue de \$7.36. Esto evidencia que la eficiencia en el uso de los recursos disponibles para producir excedentes fue mayor en el STO. Lo anterior se explica porque el sistema que usó menor cantidad de fertilizantes inorgánicos para producir maíz que a su vez se incorporó a la producción de leche, disminuyó sus costos de producción, y por tanto mejoró su disponibilidad de recursos económicos para satisfacer las necesidades de la familia. En el caso de la estabilidad, fue mejor en el sistema que incorporó prácticas agroecológicas de manera intensiva respecto al sistema que no lo hizo, el maíz integrado a la producción de leche en el STO fue 95.83%, en cambio en el STI fue de 51.58%. Al integrar mayor proporción de la producción de maíz a la producción de leche, se incrementó el valor del grano por medio de la producción y venta de leche. El atributo de adaptabilidad medido por medio de la percepción de la continuidad del sistema, fue similar en ambos casos, puesto que obtuvieron valor superior a 7, el 10 en la escala utilizada representa el óptimo. Lo anterior se explica

porque la actividad productiva es una importante fuente de empleo e ingresos para la familia y además es parte de su forma de vida, lo cual se relaciona con el atributo equidad que presentó valores similares en ambos casos, por ejemplo, más de 3 (de 4) miembros de la familia en promedio tuvieron empleo directo en el agroecosistema estudiado. En cuanto a la autogestión, dos indicadores que se refieren a la independencia de insumos y apoyos externos, fueron mejores en el STO., la producción de maíz en el STO dependió de menor cantidad de fertilizantes inorgánicos al usar solamente  $0.18 \text{ t ha}^{-1}$ , en cambio el STI usó  $0.46 \text{ t ha}^{-1}$ . Lo anterior se explica porque en el STO existe mayor disponibilidad de estiércol para abonar las parcelas, lo cual cubre parcialmente las demandas de fertilización de los cultivos, además, en dichos sistemas existe menor participación en programas de apoyo, lo cual disminuye el acceso a insumos como los fertilizantes, esto a su vez influye en menor incorporación de dichos insumos al proceso de producción.

Los agroecosistemas que usan recursos locales para la producción, conservan la base de sus recursos naturales y satisfacen las necesidades del agricultor a lo largo del tiempo, son más eficientes y sostenibles (Altieri y Nicholls, 2007; Masera *et al.*, 2000; Gómez *et al.*, 1996). Los resultados del presente estudio mostraron que el sistema que usó estiércol disponible en las unidades de producción y que dependió menos de fertilizantes inorgánicos, además que integró más maíz a la producción pecuaria, como el STO, se acercó más al óptimo de sostenibilidad al alcanzar el 81%, por encima del 62% cuando se incorporaron menos las prácticas agroecológicas. Es importante tener en cuenta que los indicadores son la representación real del sistema estudiado y los valores óptimos representan al

sistema modelo (de sostenibilidad), que combinan lo conceptual con las características del objeto de estudio (Cathalifaud y Osorio, 1998).

La diferencia entre los sistemas de producción para alcanzar el óptimo de sostenibilidad se explica porque el uso de los recursos locales como el estiércol, ayudó a mantener los mismos niveles de producción que en los sistemas que tuvieron mayor acceso a programas de apoyos y fertilizantes químicos. La producción de maíz con la aplicación de fertilizantes no justifica económicamente los costos de dicha aplicación, lo cual se ve reflejado en el aumento de los costos de producción de leche con el grano como insumo, la independencia de fertilizantes para producir maíz es un indicador que refleja el nivel de autodependencia y a su vez de la sostenibilidad del agroecosistema estudiado. A este respecto, Améndola-Massiotti *et al.* (2011) en un estudio sobre el efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz forrajero manejado en rotación con alfalfa, similar a las condiciones de manejo del agroecosistema del presente estudio, encontraron que si bien la fertilización nitrogenada aumentó el rendimiento de maíz; la tasa marginal de retorno de la fertilización fue baja, por lo que no es económicamente recomendable. También, encontraron que la fertilización aumentó la cantidad de nitrógeno lixiviado y por tanto fue ecológicamente desfavorable.

Lo anterior coincide con lo que descubrieron Hernández *et al.* (2013), los agroecosistemas campesinos de producción de leche son más eficientes y productivos cuando se reduce el uso de insumos externos. Por otro lado, Vega *et al.* (2014) y Priego-Castillo *et al.* (2009) descubrieron que el uso de fertilizantes afecta la dimensión ambiental de la sostenibilidad de los agroecosistemas campesinos. Por su

parte, Astier *et al.* (2012) comprobaron que la integración de cultivos con ganadería, el manejo orgánico del suelo y la reducción de insumos externos son las principales estrategias usadas por campesinos para mejorar la sostenibilidad de sus agroecosistemas.

Lo anterior indica que la implementación más intensiva de prácticas agroecológicas, que a la vez reduce el uso de insumos externos como fertilizantes, contribuye a mejorar la sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

Finalmente, alcanzar la sostenibilidad de los agroecosistemas implica lograr un estado de equilibrio y organización para conseguir un fin común de todos los componentes, en el caso del agroecosistema estudiado, ese fin es la satisfacción aceptable de las necesidades de la familia a lo largo del tiempo y sin afectar al ambiente. De acuerdo a lo que explican Cathalifaud y Osorio (1998) sobre la teoría general de sistemas, la mantención del equilibrio y continuidad en sistemas abiertos, como el agroecosistema estudiado, implica necesariamente la importación de recursos provenientes del ambiente. Estos recursos pueden consistir en flujos energéticos, materiales o informativos que se relacionan con la dimensión económica, social y ambiental de la sostenibilidad. No obstante, el concepto de sostenibilidad desde el enfoque agroecológico, sugiere que la dependencia de dichos flujos se minimice mediante la máxima eficiencia en el uso de la energía que se conserva dentro del sistema, y en casos en los que es necesario el uso de energía externa como los insumos, propone un modelo de agricultura que haga uso de recursos locales con menor impacto al ambiente, por tanto, en vista de la premura

ante las crisis humana y ambiental, como el hambre y el cambio climático, la sustitución de insumos para la agricultura provenientes de recursos no renovables como el petróleo, es una exigencia imperante para las generaciones actuales y futuras.

### **3.5. CONCLUSIONES**

El sistema que incorporó prácticas agroecológicas de manera más intensiva, se acercó más al óptimo de sostenibilidad al alcanzar el 81%, por encima del 62% cuando se incorporaron con menor intensidad. La incorporación de prácticas agroecológicas como la aplicación de abono orgánico, la rotación de cultivos y la integración de cultivos a la producción pecuaria contribuyen a mejorar los indicadores de sostenibilidad, tanto económicos, sociales, como ambientales, fortalecen los atributos del agroecosistema para mantener niveles de producción por más tiempo y con menores recursos externos, lo cual fortalece la capacidad de las familias campesinas para garantizar su necesidades a lo largo del tiempo. Se comprueba la hipótesis y se concluye que las prácticas agroecológicas contribuyen a mejorar la sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

### **3.6. AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México y al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), por la beca brindada para realizar este estudio. También se agradece a César Calderón del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por realizar de manera pronta y oportuna los análisis de fertilidad de suelos utilizados en el

presente estudio, a Higinio López Sánchez, por sus recomendaciones metodológicas en la escritura de este artículo y a los productores de Santa Ana Xalmimilulco y San Pedro Tlaltenango, por la información brindada en la encuesta.

### 3.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M.A., Anderson, M.K., Merrick, L.C., 1987. Peasant Agriculture and the Conservation of Crop and Wild Plant Resources. *Conserv. Biol.* 1, 49–58.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16, (1) 3-12.
- Altieri, M.Á., Nicholls, C.I., 2012. Agroecología: Única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología* 7, 65–83.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 869–890.
- Améndola-Massiotti, R., Cach-Gómez, I., Álvarez-Sánchez, E., López-Cruz, I., Burgueño-Ferreira, J., Martínez-Hernández, P., Cristóbal-Acevedo, D., 2011. Balance De Nitrógeno En Maíz Forrajero Con Diferente Fertilización Y Fase De Rotación Con Praderas. *Agrociencia* 45, (2) 177-193.
- Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquivel, C.E., Masera, O.R., 2012. Assessing the Sustainability of Small Farmer Natural Resource Management Systems. A Critical Analysis of the MESMIS Program (1995-2010). *Ecol. Soc.* 17, (3) 25.
- Astier, M., Speelman, E.M., López-Ridaaura, S., Masera, O.R, Gonzalez-Esquivel, C.E., 2011. Sustainability indicators, alternative strategies and trade-offs in

- peasant agroecosystems: analysing 15 case studies from Latin America. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9, (3) 409-422.
- Brunett, L., Gonzales-Esquivel, C., García-Hernández, 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, (7) 78.
- Cathalifaud, M.A., Osorio, F., 1998. Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta Moebio*, 3.
- Cervantes, F., Cesín, A., 2006. La lechería rural y urbana en México: análisis comparado entre los altos de Jalisco y Xalmimilulco, Puebla., in: *Agroindustria rural y territorio: Nuevas tendencias en el análisis de la lechería*. UAEMEX, México.
- Conway, G.R., 1987. The properties of agroecosystems. *Agric. Syst.* 24, 95–117.
- FAO, FIDA y PMA, 2015. El Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos. *Food Agric. Organ. U. N.* URL <http://www.fao.org/publications/card/es/c/732916a2-ae54-414c-8b3a-30766530797b> (accessed 8.3.15).
- Flores-Pardavé, L., Palacios-Vargas, J.G., Castaño-Meneses, G., Cutz-Pool, L.G. 2011. Colémbolos de suelos agrícolas en cultivos de alfalfa y de maíz adicionados con biosólidos en Aguascalientes, México. *Agrociencia* 45, 353–362.
- García-Plazaola, J.I., Hernández, A., Becerril, J.M., Arrese-Igor, C. 1999. Long-term effects of nitrate on lucerne (*Medicago sativa* L.) nitrogen fixation is not influenced by the denitrification status of the microsymbiont. *Plant Soil* 216, 139–145.

- Ghosh, S., Dickstein, R., Knight, T.J., Langston-Unkefer, P.J. 2012. Interactions between *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* and Two Rhizosphere Hosts, *Medicago sativa* and *Avena sativa*. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 10, 91–99.
- Gliessman, S.R., Engles, E., Krieger, R., 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. USA: Ann Arbor. 357 p.
- Gómez, A.A., Kelly, D.E., Syers, J.K., Coughlan, K.J. 1996. Measuring Sustainability of Agricultural Systems at the Farm Level. *Methods Assess. Soil Qual.* 49, 401–410.
- Harlem, B.G., Khalid, M., 1988. *Nuestro futuro común*. Alianza, Madrid, España. 460 p.
- Hernández, P., Estrada-Flores, J.G., Aviles-Nova, F., Yong-Angel, G., López-Gonzalez, F., Soleds-Mendez, A.D., Castellón-Ortega, O.A. 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y Ciencia* 29 (1):19-31.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., Baptista, P. 2006. *Metodología de la investigación*. Cuarta ed. Mac Grow-Hill Interamericana, México. 705 p.
- Howieson, J.G., Nutt, B., Evans, P. 2000. Estimation of host-strain compatibility for symbiotic N-fixation between *Rhizobium meliloti*, several annual species of *Medicago* and *Medicago sativa*. *Plant Soil* 219, 49–55.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. *México en cifras: información nacional, por entidad federativa y por municipio*. URL <http://www.inegi.org.mx/default.aspx> (accessed 5.16.15).

- López-Ridaura, S., Masera, O., Astier, M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. the MESMIS framework. *Ecol. Indic.*, Hyatt S.I. 2, 135–148.
- Masera, O., Astier, M., Lopez-Ridaura, S. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. México DF, México. 109 p.
- Moore, H., 2015. “Hay que acabar con el desarrollo”. University College of London. BBC Mundo. URL [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/08/150715\\_fin\\_desarrollo\\_sudamerica\\_lider\\_finde\\_dv](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/08/150715_fin_desarrollo_sudamerica_lider_finde_dv) (accessed 8.16.15).
- Nicholls, C.I., Altieri, M.A. 2010. Agroecología, potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Rev. Econ. Crítica* 62–74.
- Olivares-Campos, M.A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J.L., Ojeda-Barrios, D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores del suelo. *Universidad y Ciencia*. 28, (1) 27–37.
- Priego-Castillo, G.A., Galmiche-Tejeda, A., Castelán-Estrada, M., Ruiz-Rosado, O., Ortiz-Ceballos, A.I. 2009. Evaluación de la sustentabilidad de dos sistemas de producción de cacao: estudios de caso en unidades de producción rural en Comalcalco, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 25, 39–57.
- Primavesi, M., 1984. Manejo Ecológico Del Suelo. URL <https://www.scribd.com/doc/168200753/Manejo-Ecologico-Del-Suelo-Ana-Primavesi-1984-Parte-1-2> (accessed 7.25.15).

- Rivera-Cruz, M. del C., Ortiz-García, C.F., Almaraz-Suárez, J.J., Trujillo-Narcía, A., Cruz-Navarro, G. 2013. Uso de fertilizantes orgánicos para la mejora de propiedades químicas y microbiológicas del suelo y del crecimiento del cítrico Citrange toyer. *Universidad y Ciencia*. 28, (2):123-139.
- Siegel, S., Castellan, N.J. 1995. *Estadística no paramétrica: aplicada a ciencias de la conducta*, Cuarta edición. ed. Trillas, México. 437 p.
- Toledo, V.M., Alarcón-Cháires, P., Barón, L. 2009. Revisualizar lo rural desde una perspectiva multidisciplinaria. *Polis Santiago* 8, 328–345.
- USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos, por siglas en inglés). 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo. En línea. Disponible en: [www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf). Consultado el: 07/07/2014.
- Vega, R.C., Flores, V.T., Careaga, J.R., Fleites, G.L. 2014. Evaluación de la sustentabilidad de la actividad agrícola de tres localidades campesinas en Pahuatlán, Puebla. *Ecosistemas Recursos Agropecuarios* 1, (3): 219-231.
- WCED (World Commission on Environment and Development). 1987. *Our Common Future: World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press. 400 p.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C. 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515.

Cuadro 5. Caracterización de las formas de manejo del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

Recursos/ámbito	STI	STO
Suelos	Menos abono orgánico, más fertilizantes inorgánicos, labores de cultivo 4.5	Más abono orgánico, menos fertilizantes inorgánicos, labores de cultivo 3.25
Riego	Riegos anuales a alfalfa 8.08 , maíz de temporal	Riegos anuales a alfalfa 2.08, maíz de temporal
Agro-biodiversidad	Especies de cultivos 3.75, variedades de maíz nativo 1.58, híbridos de maíz 2.5, especies animales 3.5, razas de bovinos 1.5	Especies de cultivos 3.5, variedad de maíz nativo 1.00, híbridos de maíz 1.17, especies animales 3.25, razas de bovinos 1.33
Tecnología y manejo	Siembra con maquinaria, deshierbe con maquinaria/yunta, ocasionalmente con herbicidas, cosecha manual, 33% ensila maíz, menor rotación de alfalfa con maíz, menos cultivos en rotación, tamaño de hato 23.83 animales, ordeño mecánico, inseminación artificial, alimentación del ganado con forrajes, granos y alimentos balanceados	Siembra con maquinaria, deshierbe con maquinaria o yunta, ocasionalmente con herbicidas, cosecha manual, 83% ensila maíz, mayor rotación de alfalfa con maíz, más cultivos en rotación, tamaño de hato 18.83 animales, ordeño mecánico, inseminación artificial, alimentación del ganado forrajes, granos y alimentos balanceados
Social	Miembros de la familia 4.5, escolaridad del jefe de familia 8.0 años, tierra cultivada 11.17 hectáreas, menor producción de maíz incorporada a la producción de leche, mayor participación en programas de apoyo	Miembros de la familia 4.17, escolaridad del jefe de familia 8.9 años, tierra cultivada 5.17 hectáreas, mayor producción de maíz incorporada a la producción de leche, menor participación en programas de apoyo

Nota: STI= Sistema Tendiente a Industrial. STO= Sistema Tendiente a Orgánico.

Cuadro 6. Atributos, criterios de diagnóstico, puntos críticos, indicadores y valores óptimos del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado.

Atributos	Criterios de diagnóstico	Puntos críticos	Indicadores	VO	MO	DS
Productividad	Eficiencia	Alta productividad agrícola	Rendimiento de maíz ( $t\ ha^{-1}$ )	6.8	a	E
		Baja productividad pecuaria	Producción de leche por vaca al día (L)	22.1	a	E
		Altos costos de producción	Costo de producción de leche ( $\$ L^{-1}$ )	5.7	b	E
Adaptabilidad	Continuidad del sistema	Futuro del sistema	Percepción de la continuidad del sistema	10.0	c	S
Estabilidad, confiabilidad, resiliencia	Calidad, conservación y protección de los recursos Diversidad de espacio y tiempo	Degradación de suelos	Número de prácticas de conservación de suelo	3.0	d	A
		Baja calidad del suelo	Materia Orgánica del suelo (%)	2.4	d	A
		Biodiversidad	Número de especies manejadas en el sistema	11.0	d	A
		Integración de componentes	Ciclo de rotación de alfalfa (años) Maíz integrado a la producción de leche (%)	3.9 100.0	e d	 EA
Equidad	Evolución del empleo	Generación de empleos	Trabajo familiar permanente en el	4.0	e	S

Atributos	Criterios de diagnóstico	Puntos críticos	Indicadores	VO	MO	DS
			sistema			
Autogestión (o autodependencia)	Dependencia de insumos y factores externos	Dependencia de insumos	Independencia de fertilizantes químicos (t ha <sup>-1</sup> )	0.0	f	EA
		Dependencia de ingresos extra-agropecuarios	Cobertura de costos de producción (%)	100.0	g	E
		Dependencia de apoyos	Independencia de programas de apoyos públicos	0.0	f	S
	Producción para el consumo	Seguridad alimentaria	Cobertura de los gastos en alimentación (%)	100.0	h	S

Nota: VO= Valor óptimo. MO= Método de Obtención (a=Producción mínima para cubrir el 100% de costos de producción totales del sistema que incluyen los costos de la mano de obra familiar. b= lo que debería costar el producir un litro de leche teniendo en cuenta que sea igual o menor que el nivel de ingresos actual. c=En una escala del 1 al 10, en la que 1 percibe que no continuará y 10 que sí, tomando en cuenta el estado actual del suelo, de los animales y la participación de los hijos del productor en el sistema. A este último factor se le asignó el 50% del peso sobre el promedio de los tres factores. d= Se tomó el valor máximo de la muestra estudiada. e= Valor promedio de la muestra estudiada. f= Óptimo tomado del valor mínimo de la muestra estudiada. g= Representa el 100% de cobertura de los costos de producción totales del sistema que incluyen los costos de la mano de obra familiar. h= Se consideró el óptimo como el 100% de cobertura de gastos de alimentación, a las ponderaciones que superaron ese porcentaje se les asignó el 100% de cobertura, se consideró que las familias deciden *a priori* resolver sus necesidades alimenticias con sus ingresos semanales por la venta de leche). DS= Dimensión de la Sostenibilidad (E= Económico, A= Ambiental, S= Social).

Cuadro 7. Resultados por indicador de sostenibilidad del agroecosistema campesinos maíz-leche con ganado estabulado.

Atributos	Indicadores	Valor calculado			
		STI	STO	p	Sig.
Productividad	Rendimiento de maíz (t ha <sup>-1</sup> )	5.50 a	3.90 a	0.077	ns
	Producción de leche por vaca al día (L)	16.70 a	20.80 a	0.228	ns
	Costo de producción de leche (\$ L <sup>-1</sup> )	7.36 a	6.74 a	0.519	ns
Adaptabilidad	Percepción de la continuidad del sistema	7.80 a	7.50 a	0.592	ns
Estabilidad,	Número de prácticas de conservación de suelo	2.08 a	2.16 a	0.534	ns
confiabilidad y	Materia Orgánica del suelo (%)	0.78 b	1.35 a	0.003	**
resiliencia	Número de especies manejadas en el sistema	7.25 a	6.75 a	0.553	ns
	Ciclo de rotación de alfalfa (años)†	13.81 b	4.73 a	0.002	**
	Maíz integrado a la producción de leche (%)	51.58 b	95.83 a	0.001	**
Equidad	Trabajo familiar permanente en el sistema	3.33 a	3.13 a	0.572	ns
Autogestión (o	Independencia de fertilizantes químicos (t ha <sup>-1</sup> )†	0.46 b	0.18 a	0.001	**
autodependencia)	Cobertura de costos de producción (%)	71.17 a	78.83 a	0.554	ns
	Independencia de programas de apoyos públicos†	1.91 b	0.83 a	0.004	**
	Cobertura de los gastos en alimentación (%)	797.0 a	696.0 a	0.366	ns

Nota: STI: Sistema Tendiente a Industrial, STO: Sistema Tendiente a Orgánico, n=12, Sig.: Significancia. \*existe diferencia significativa (p<0.05), \*\*existe diferencia altamente significativa (p<0.01). Letras distintas indican diferentes niveles de significancia. † Interpretar a la inversa, a menores valores, mejor para la sostenibilidad.

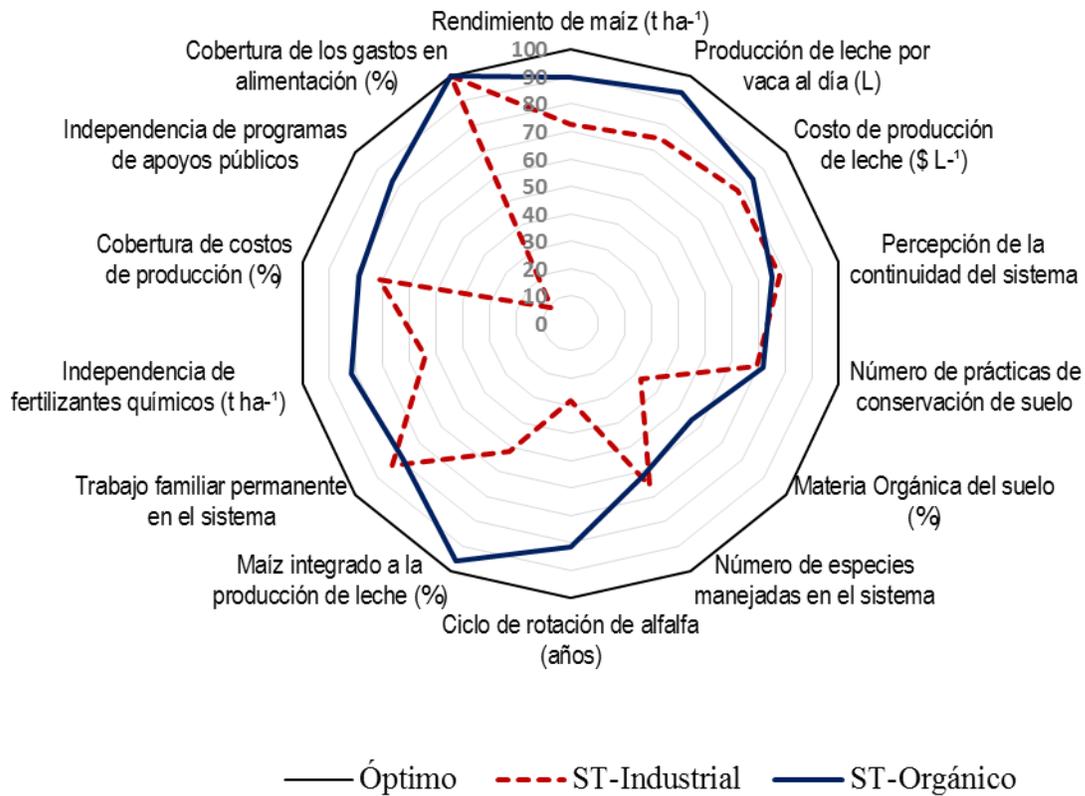


Figura 2. Comparación de 14 indicadores de sostenibilidad del agroecosistema campesino maíz-leche con ganado estabulado. Óptimo= valores óptimos de sostenibilidad. ST-Industrial= Sistema Tendiente a Industrial. ST-Orgánico= Sistema Tendiente a Orgánico. Fuente: Elaboración propia.

#### **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES**

**Conclusiones.** La escala de producción agrícola del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado, se asocia con la incorporación de prácticas agroecológicas, las cuales se incorporan de manera más intensiva en pequeñas unidades de producción, y a medida que dicha escala aumenta se tiende más hacia un modelo de agricultura convencional que hace mayor uso de insumos externos.

El sistema que incorporó prácticas agroecológicas de manera más intensiva, se acercó más al óptimo de sostenibilidad al alcanzar el 81%, por encima del 62% cuando se incorporaron menos prácticas agroecológicas. La incorporación de prácticas agroecológicas como la aplicación de abono orgánico, la rotación de cultivos y la integración de cultivos a la producción pecuaria, permite obtener mejores valores en los indicadores de sostenibilidad, tanto económicos, sociales, como ambientales, y por tanto se fortalecen los atributos del agroecosistema para mantener niveles de producción por más tiempo y con menores recursos externos, lo cual fortalece la capacidad de las familias campesinas para garantizar su necesidades a lo largo del tiempo. A pesar que aún no se tienen niveles de sostenibilidad satisfactorios puesto que los sistemas no alcanzan el 100%, se concluye que las prácticas agroecológicas contribuyen a mejorar la sostenibilidad del agroecosistema campesino de maíz-leche con ganado estabulado.

**Recomendaciones.** Se recomienda un plan integral con enfoque agroecológico, aplicando investigación participativa, en un proceso en el cual los productores puedan gestionar sus recursos y proponer prácticas que desde su propia experiencia

son sostenibles. De igual manera, la movilización de información y tecnología debería hacerse de manera participativa.

Se recomienda educación ambiental de los campesinos por medio de la implementación de esquemas de extensionismo adecuados al enfoque agroecológico, con el fin de concientizar sobre la importancia de la incorporación de prácticas agroecológicas en sus sistemas de producción, de tal manera que la incorporación de dichas prácticas no se deba solamente a las condiciones de cada localidad que pueden limitar o favorecer las mismas, sino que se diseñe conscientemente un manejo adecuado de los recursos.

También, se recomienda la conversión de las unidades de producción de mayor escala, mediante un rediseño espacial de la producción agrícola para ajustarse a los requerimientos del ganado. De esa manera, se reduciría el uso de insumos externos que generan mayor dependencia del agroecosistema estudiado. La conversión agroecológica de las unidades de producción de mayor escala, mediante un rediseño espacial de la producción agrícola para ajustarse a los requerimientos del ganado sería uno de los elementos que permitirían conseguir niveles aceptables de sostenibilidad del agroecosistema.