



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**DISEÑO PARTICIPATIVO PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD
DE LOS AGROECOSISTEMAS DE LA MICROCUENCA PASO DE
OVEJAS 1 EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO**

BERNARDINO CANDELARIA MARTÍNEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

2011

La presente tesis, titulada: **Diseño participativo para mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 en el estado de Veracruz, México**, realizada por el alumno: **Bernardino Candalaria Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

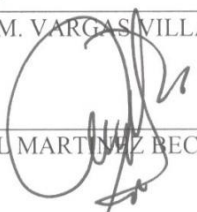
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. OCTAVIO RUIZ ROSADO

ASESOR: 
DR. FELIPE GALLARDO LÓPEZ

ASESOR: 
DR. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESOR: 
DR. LUIS M. VARGAS VILLAMIL

ASESOR: 
DR. ÁNGEL MARTÍNEZ BECERRA

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 11 de julio de 2011

DISEÑO PARTICIPATIVO PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS DE LA MICROCUENCA PASO DE OVEJAS 1 EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MEXICO

Bernardino Candelaria-Martínez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2011

Se caracterizaron los agroecosistemas (AES) de la microcuenca Paso de Ovejas 1 (POV-1) y con base en las condiciones locales se diseñó un índice agregado de sustentabilidad, en el cual se incluyeron cuatro dimensiones: ambiental, económica, social y humana, con un total de 29 indicadores. Para determinar los valores umbrales (máximo y mínimo) de cada indicador se consideraron parámetros locales, de cada grupo se seleccionó un AES al azar al que se le denominó agroecosistema tipo, en el que se realizaron evaluaciones detalladas y se representó en un modelo de simulación. Los grupos (G) identificados fueron: G1) tendencia a la ganadería con alta disponibilidad de tierras, G2) tendencia al manejo de cultivos con baja disponibilidad de tierras y G3) tendencia a la ganadería con disponibilidad media de tierras. El grado de sustentabilidad fue mayor en G1, seguido de G3 y G2, con valores de 0.58, 0.53 y 0.48, respectivamente. Se concluye que la falta de interés de los herederos de continuar con la agricultura, la desorganización entre productores, la deficiente capacitación y la erosión hídrica del suelo, son factores limitantes del desarrollo sustentable de la agricultura. También, los AES de la microcuenca POV-1 presentan baja sustentabilidad de acuerdo a las posibilidades de la región. Los factores que determinan los bajos niveles de sustentabilidad son sociales, económicos, humanos y ambientales, con una retroalimentación positiva entre ellos en un proceso cíclico y cada vez más potencializado. La simulación de escenarios puede auxiliar en la selección de mejores decisiones para el desarrollo de una agricultura sustentable.

Palabras clave: modelación, modelos, escenario, índice agregado, territorio.

PARTICIPATORY DESIGN TO IMPROVE THE SUSTAINABILITY OF THE PASO DE OVEJAS MICRO-WATERSHED AGROECOSYSTEMS IN THE STATE OF VERACRUZ, MEXICO

Bernardino Candelaria-Martínez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2011

The Paso de Ovejas 1 (POV-1) micro-watershed agroecosystems (AES) were characterized and based on the local conditions a sustainability aggregation index was designed, which included four dimensions: environmental, economic, social and human, with a total of 29 indicators. To determine the threshold values (maximum and minimum) of each indicator local parameters were considered; of each group an AES was randomly selected and was called type agroecosystem, in which detailed assessments were made and a simulation model was represented. The groups (G) identified were: 1) tendency to livestock with high availability of land, 2) tendency to crop management with low availability of land, and 3) tendency to livestock with medium availability of land. The degree of sustainability was higher in G1, followed by G3 and G2 followed, with values of 0.58, 0.53 and 0.48 respectively. In conclusion the lack of interest of the heirs to continue with the agriculture, the disorganization among producers, the poor training and the soil erosion by water, are limiting factors for a sustainable agriculture. The POV-1 AES have low levels of sustainability according to the possibilities of the region. The factors that determine the sustainability are social, economic, human and environmental, with a positive feedback between among them in a cyclical and increasingly potentiated process. The simulation of scenarios can assist in the selection of best decisions for the development of a more sustainable agriculture.

Key words: modeling, models, scenario, aggregation index, territory.

Dedico esta tesis:

A mi Dios, por las hermosas bendiciones que me ha regalado.

A Carolina y Dulce, grandes motivos de mi vida.

A mi madre María Bertha Martínez Lara, a mi padre Eusebio Candelaria Ángeles (+), a mis hermanas Concepción y Araceli, a mis sobrinos Andrés, Neyva, Izamar, Aldo y Said, a mi cuñado René.

Muy especialmente a Marce (+).

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz por la oportunidad de formarme académicamente en el Programa de Agroecosistemas Tropicales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 46723, otorgada para realizar los estudios de Doctorado en Ciencias.

A la Línea Prioritaria de Investigación en Agroecosistemas Sustentables del Colegio de Postgraduados (Línea AES-CP) y al CP-Veracruz, por el financiamiento para realizar la investigación y por todas las facilidades brindadas.

Al Dr. Ponciano Pérez Hernández, a la Dra. Silvia López Ortiz y al Dr. Adalberto Rosendo Ponce, por su confianza e incondicional apoyo en el inicio y durante el proceso del doctorado, gracias.

A mi consejo particular: Dr. Octavio Ruiz Rosado, Dr. Felipe Gallardo López, Dr. Ponciano Pérez Hernández, Dr. Luis Manuel Vargas Villamil y Dr. Ángel Martínez Becerra, por compartir sus conocimientos, pero sobre todo por su amistad, confianza y apoyo en los momentos difíciles y de incertidumbre.

A mis amigos Rosendo San Juan Hernández y Héctor Chalate Molina por su amistad y apoyo, gracias.

A mis compañeros de generación: Anabel Cruz, Blanca F. Solís, Carolina Flota, Gerardo Aguilar, Guadalupe Arcos, Hugo Rodríguez, Manuel Mena, María Karla Román, y Ricardo Serna, buenos compañeros, de variados pensamientos, inteligentes y valiosos todos.

A todo el personal del Campus Veracruz que contribuyó y facilitó de diferentes maneras el que realizara mis actividades.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1 Planteamiento del problema.....	3
2 Objetivos.....	5
3 Hipótesis.....	6
4 Revisión de literatura	7
4.1 El concepto de sustentabilidad agrícola, sus implicaciones y métodos de evaluación.....	7
4.1.1 Introducción.....	9
4.1.2 La agricultura y la sustentabilidad.....	12
4.1.3 Implicaciones de la agricultura sustentable.....	14
4.1.4 Evaluación de la sustentabilidad agrícola.....	16
4.1.5 La jerarquización de la sustentabilidad agrícola.....	18
4.1.6 Métodos de evaluación de sustentabilidad agrícola.....	20
4.1.7 Uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad agrícola.....	23
4.1.8 Conclusiones.....	25
4.1.9 Literatura citada.....	25
4.2 Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura.....	29
4.2.1 Introducción.....	32
4.2.2 Definición de modelo.....	33
4.2.3 Tipos de modelos.....	34
4.2.4 Importancia del uso de modelos en la agricultura.....	35
4.2.5 Algunos modelos desarrollados para evaluar cultivos agrícolas.....	38
4.2.6 Algunos modelos desarrollados para evaluar sistemas pecuarios.....	43
4.2.7 Los modelos y el enfoque en agroecosistemas.....	47
4.2.8 Modelaje participativo.....	50
4.2.9 Conclusiones.....	53
4.2.10 Literatura citada.....	54
 CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS DE LA MICROCUENCA PASO DE OVEJAS 1: ESTRUCTURA, FUNCIÓN Y PRÁCTICAS DE MANEJO PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES	60
1.1 Introducción.....	62
1.2 Materiales y métodos.....	65
1.3 Resultados y discusión.....	67
1.4 Conclusiones.....	78
1.5 Literatura citada.....	78
 CAPÍTULO II. SUSTENTABILIDAD Y MODELAJE PARTICIPATIVO DE LOS AGROECOSISTEMAS DE LA MICROCUENCA PASO DE OVEJAS 1	81
2.1 Introducción.....	83

2.2 Materiales y métodos.....	86
2.3 Resultados y discusión.....	94
2.4 Conclusiones.....	110
2.5 Literatura citada.....	111
CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	118
Conclusiones.....	118
Recomendaciones.....	121
Literatura citada.....	123
ANEXOS.....	124
Anexo 1. Dirección electrónica del modelo de simulación de sustentabilidad....	124

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Criterios de producción agrícola.....	14
Cuadro 2	Algunos métodos para evaluar sustentabilidad agrícola y desarrollo sustentable.....	21
Cuadro 3	Niveles de evaluación de sustentabilidad en agricultura y sus indicadores	24
Cuadro 4	Tipos de modelos por su función y grado de extracción del fenómeno.....	35
Cuadro 5.	Población y tamaño de muestra en las localidades de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	65
Cuadro 6	Estructura del instrumento para la caracterización de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	66
Cuadro 7	Disponibilidad de tierra y uso del suelo en los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	72
Cuadro 8	Estructura de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	73
Cuadro 9	Prácticas de conservación de los recursos naturales y de manejo de los componentes del agroecosistema de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	74
Cuadro 10	Prácticas zootécnicas desarrolladas en la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	77
Cuadro 11	Indicadores de sustentabilidad agrícola para los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	89
Cuadro 12	Descripción de las modificaciones propuestas por los productores para los agroecosistemas tipo.....	93
Cuadro 13	Nivel de sustentabilidad de los agroecosistemas por localidad y por grupo en la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	95
Cuadro 14	Características físicas y químicas del suelo de los agroecosistemas tipo de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	104

Cuadro 15	Erosión hídrica de suelo de los agroecosistemas tipo de la microcuenca Paso de ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	105
Cuadro 16	Entradas al modelo de simulación para crear escenarios de sustentabilidad de los agroecosistemas tipo.....	107

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Área de sustentabilidad agrícola.....	18
Figura 2	Evolución de la visión al aplicar modelos en agricultura.....	52
Figura 3	Componentes presentes en los Agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 de municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	67
Figura 4	Tipos de agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	69
Figura 5	Efecto de la edad y escolaridad del responsable sobre el número de componentes del agroecosistema.....	70
Figura 6	Esquema metodológico de la BAESA.....	88
Figura 7	Precipitación de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el ciclo 2009.....	94
Figura 8	Dimensiones de sustentabilidad de los Agroecosistemas por localidad en la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	97
Figura 9	Indicadores de sustentabilidad de los agroecosistemas por localidad de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	101
Figura 10	Sustentabilidad de los tres grupos de agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.....	102
Figura 11	Modelo de simulación de la sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el estado de Veracruz, México; utilizando el programa Vensim® PLE.	106
Figura 12	Escenarios de sustentabilidad para el agroecosistema tipo 1, usando Vensim® PLE.....	108
Figura 13	Escenarios de sustentabilidad para el agroecosistema tipo 2, usando Vensim® PLE.....	109
Figura 14	Escenarios de sustentabilidad para el agroecosistema tipo 3, usando Vensim® PLE.....	110

INTRODUCCIÓN GENERAL

La presente tesis se estructura bajo la modalidad de manuscritos de artículos científicos. El primer apartado corresponde a la Introducción General, donde se incluye una breve introducción, el planteamiento del problema que da origen a la investigación, los objetivos e hipótesis planteadas. El segundo apartado Revisión de Literatura, es el resultado del análisis de dos temas que dieron el soporte teórico conceptual a la investigación: la sustentabilidad agrícola y el uso de modelos en la agricultura, y que fueron sometidos para su publicación a diferentes revistas científicas. En el Capítulo I se aborda la caracterización de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. En el Capítulo II se presenta el índice agregado de sustentabilidad agrícola desarrollado -el cual consiste en integrar las dimensiones social, económica, ambiental y humana en un valor único-, los niveles de sustentabilidad y el modelo de simulación de los agroecosistemas tipo de la microcuenca Paso de Ovejas 1. Finalmente, en el apartado de Conclusiones y Recomendaciones generales se presentan comentarios generales sobre el proceso de investigación, los resultados obtenidos y algunas sugerencias al respecto.

Actualmente la salud de los recursos naturales se encuentra en crisis, como resultado principalmente de la presión que ha ejercido la población mundial por la producción de alimentos. Además, que para enfrentar los problemas de bajos índices de productividad se ha recurrido al uso intensivo de insumos sintéticos, situación que agrava el panorama del estado de los recursos naturales y de su capacidad para producir la cantidad de alimentos que la sociedad demanda, en la llamada agricultura “moderna”, la cual se ha clasificado como no sustentable (Gliessman, 2000). Los agroecosistemas según Ruiz (2006) son un espacio

geográfico donde se establecen relaciones entre organismos copartícipes de la actividad agrícola influenciados por aspectos sociales, económicos, tecnológicos y ecológicos, por su parte (Gliessman, 2000) considera que los agroecosistemas tropicales son biológicamente frágiles, debido a que el equilibrio dinámico de las relaciones entre sus elementos puede perderse cuando se realizan modificaciones en su estructura y función; lo que repercute inevitablemente sobre los procesos económicos y sociales de los productores y sus comunidades. Los factores que influyen sobre la capacidad productiva y de permanencia de estos sistemas son variados, e incluyen las características climáticas, edáficas, culturales, conocimiento de los productores, políticas de desarrollo, acceso a recursos económicos y financieros, entre otros.

Bajo este panorama, resulta importante el desarrollo de propuestas holísticas para el mejoramiento de los agroecosistemas, mediante métodos integrales que permitan conocer, diseñar y evaluar opciones de manejo con base en las condiciones locales, a través de la participación de investigadores y productores, a fin de avanzar, por un lado, en la búsqueda de métodos prácticos y sencillos, con marcos teóricos robustos para el estudio y alcance de la sustentabilidad agrícola, y por otro lado, que se proporcionen las bases teóricas para lograr el desarrollo rural sustentable.

1. Planteamiento del problema

En el estado de Veracruz, por su diversidad topográfica se crean diferentes condiciones ambientales, en las cuales se desarrollan distintas actividades productivas. Las actividades agropecuarias se han adaptado a estas condiciones particulares de cada región o microregión, en donde la disponibilidad y calidad de recursos también condiciona de manera importante el grado de desarrollo de los agroecosistemas. Es tal la diversidad, que dentro de un mismo municipio pueden existir diferencias, tal es el caso de Paso de Ovejas, en donde la parte baja, además de tener suelos de buena calidad cuenta con sistemas de riego, y donde el cultivo de caña de azúcar, frutales y ganadería son las actividades principales; mientras que la parte alta no cuenta con acceso al riego, la agricultura es de temporal, y al igual que las actividades ganaderas son menos especializadas. Por otra parte, el enfoque de microcuencas, para lograr el desarrollo rural, ha sido parte fundamental para instituciones como el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO, 2005a) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través de su programa manejo integral de microcuencas; así, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz se han caracterizado dos microcuencas: Paso de Ovejas 1 y Paso de Ovejas 2 (FIRCO, 2005b). La primera se localiza en la parte de temporal del municipio y en ella se encuentran cuatro localidades con alto índice de marginalidad que son Acazónica, Rancho Nuevo, Paso Panal y Patancán, y dos localidades con índice medio de marginalidad que son Xocotitla y Angostillo, según el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2005), mientras que la microcuenca Paso de Ovejas 2 se conforma por las localidades ubicadas de El Limón, Cantarranas y la cabecera municipal de Paso de Ovejas y se localiza en la parte baja del municipio con mejores tierras agrícolas.

El Consejo Municipal de Desarrollo Rural (COMUDERS, 2006) del municipio de Paso de Ovejas, detectó seis problemas que obstaculizan el desarrollo agrícola en el municipio, a saber: contaminación del medio ambiente, falta de visión empresarial de campesinos, erosión de suelos, pérdida y contaminación de mantos freáticos, baja organización y bajo nivel tecnológico. Por otra parte, la línea Prioritaria de Investigación en Agroecosistemas Sustentables del Colegio de Postgraduados (Línea AES-CP. 2008), identificó las actividades económicas de mayor relevancia en la microcuenca Paso de Ovejas 1, las cuales requieren atención, y son: producción de maíz, producción de frijol, trabajo como jornalero, producción de carne y leche bovina, manejo del solar y 10 actividades de menor importancia económica, pero importantes social y ambientalmente hablando.

Bajo este contexto, la propuesta de alternativas viables para el desarrollo de los agroecosistemas en la microcuenca Paso de Ovejas 1, está fuertemente ligada a la necesidad de contar con una mayor base de información de los sistemas, con el fin de disponer de un panorama más completo de posibilidades para transferir y lograr cambios en los agroecosistemas actuales, con la finalidad de mejorar su sustentabilidad.

2. Objetivos

Conocer los diferentes agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, determinar su sustentabilidad y modelar, rediseñar y simular en forma participativa escenarios para los distintos agroecosistemas.

Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo tres objetivos particulares: 1) Caracterizar los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, con base en sus componentes y en las relaciones internas y externas, 2) Conocer qué aspectos son más determinantes en la integración del índice agregado de sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, y 3) Conocer el grado de sustentabilidad y determinar escenarios para mejorar la sustentabilidad, con base a modelaje participativo, para los diferentes tipos de agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

3. Hipótesis

Los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, que presentan un componente ganadero tienen mayor grado de sustentabilidad, todos los agroecosistemas tienden a disminuir su sustentabilidad en el corto plazo si no se modifica el manejo; pero existe la posibilidad de revertir estos escenarios con la participación de productores y especialistas mediante la modelación y simulación participativa de la sustentabilidad.

Así mismo, se plantearon cuatro hipótesis particulares: H1) Los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, son diferentes en estructura e interacción de sus componentes agropecuarios, H2) El índice de sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, se encuentra más determinado por los aspectos social y humano, que por el económico y ecológico, H3) El grado de sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 es mayor en los que se integra el componente ganadero y agrícola en relación a los que cuentan con un solo componente; así mismo, la proyección de la sustentabilidad de los agroecosistemas presenta una tendencia a disminuir a corto plazo, pero es posible mejorar los escenarios de sustentabilidad agrícola mediante el rediseño de los agroecosistemas con la participación de productores y especialistas.

4 Revisión de literatura

4.1 El concepto de sustentabilidad agrícola, sus implicaciones y métodos de evaluación

Resumen

El aumento de la población mundial causa una fuerte presión sobre los recursos naturales por la creciente necesidad de fibras y otros satisfactores. Con el objetivo de satisfacer tales demandas, en las últimas cuatro décadas se han empleado tecnologías con alta dependencia de uso de insumos, para mejorar la eficiencia y productividad de los agroecosistemas. Sin embargo, estas medidas han repercutido negativamente sobre la calidad de los recursos naturales en donde se desarrollan dichas actividades. Entre los principales daños destacan la pérdida o reducción de biodiversidad, alteración de ciclos biogeoquímicos, contaminación y disminución de la fertilidad de los suelos. Esta situación compromete la permanencia de dichos sistemas de producción en el tiempo, y genera a su vez dificultades políticas, sociales y de salud, acentuadas cada vez más. Por esta razón, el concepto de sustentabilidad considera el buen uso y la permanencia de los recursos naturales en el tiempo, con una justa distribución de los beneficios y las responsabilidades que conlleva su manejo. Sin embargo, a más de dos décadas de su planteamiento, se carece de un concepto universal, de estrategias para operarse en la práctica y de criterios y técnicas para su evaluación. En este escrito se analiza el concepto de la sustentabilidad agrícola, sus implicaciones y métodos usados para su evaluación. De aquí que se sugiere considerar sus múltiples dimensiones (ecológica, política, social, institucional y económica), propiedades emergentes (productividad, estabilidad, elasticidad, adaptabilidad, autogestión, autodependencia y equidad) y actores (productores, consumidores, investigadores y tomadores de decisiones), para poder caracterizar como

sustentables a los sistemas agrícolas, de lo contrario se puede tener una falsa idea y valoración de la sustentabilidad al referirse únicamente a una parte de ella.

Palabras clave: Agricultura sustentable, agroecosistemas sustentables, evaluación de sustentabilidad

The concept of agricultural sustainability, its implications and methods of evaluation

Abstract

The increase in world population exerts a strong pressure on the natural resources due to the increasing need for food and other goods. In order to satisfy such demands, in the last four decades technologies with high dependency on the use of external inputs has been used to improve the efficiency and productivity of the agroecosystems. However, these actions have impacted negatively on the quality of the natural resources where such activities take place. Some of the main negative effects are loss or reduction of biodiversity, changes in biogeochemical cycles, pollution and declining soil fertility. This situation compromises the permanence of these production systems over time, and generates in turn, political, social and health difficulties, which are accentuated more each time. For this reason, the concept of sustainability considers the good use and permanence of the natural resources over time, with a fair distribution of benefits and responsibilities involved in their management. However, after more than two decades of its proposal, there is still a lack of a universal concept, of strategies to be carried out in the practice and of criteria and techniques for its evaluation. This paper presents an overview of the development of the concept of agricultural sustainability, its implications and methodologies proposed for its evaluation. It is necessary to consider its multiple dimensions (ecological, political, social, institutional and economic), emergent

properties (productivity, stability, flexibility, adaptability, self-management, self-dependence and equity) and actors (producers, consumers, researchers and decision makers) to characterize the agricultural systems as sustainable, otherwise, it is possible to have a false idea and evaluation of sustainability by referring only to a part of it.

Keywords: Sustainable agricultural, sustainable agroecosystems, evaluation of sustainability

4.1.1 Introducción

La agricultura moderna es insostenible a largo plazo, debido a que se han erosionado los recursos naturales de los cuales depende (Gliessman, 2002). Por tanto, la tendencia de la agricultura convencional o moderna tiene repercusiones ambientales, económicas y sociales negativas, por la alta dependencia de insumos sintéticos (Jansen y Vellema, 2004). Por el contrario, los agroecosistemas campesinos de autoconsumo se consideran más sustentables, por lograr una relación más armónica con la naturaleza, como consecuencia de una coevolución entre sociedad y ambiente, por hacer un bajo uso de insumos, y porque se obtiene una alta estabilidad de los sistemas de producción con base en mecanismos de solidaridad comunitaria (Gliessman, 2002). Sin embargo, en muchos casos estos sistemas con el paso del tiempo incrementan el uso de insumos sintéticos externos de manera paulatina, debido a la dinámica social local, al contar con menor disponibilidad de mano de obra, tener menos tiempo disponible para atender sus cultivos y hacer mayor uso de paquetes tecnológicos agrícolas, esto último ocasiona que la toma de decisiones de los campesinos se desplace a las empresas que producen o distribuyen los insumos (Jansen y Vellema, 2004). Esta es una situación crítica, si se considera que en los sistemas campesinos producir su propia semilla,

autoabastecerse, alimentar a sus animales y vender excedentes en su región, refuerza la seguridad alimentaria y la soberanía de la familia y comunidad (González *et al.*, 2007).

Por otra parte, la falta de una visión sistémica en el manejo de la agricultura tecnificada ha generado dificultades para percibir las salidas no deseadas del sistema, mismas que han originado graves problemas ambientales (Sarandón, 2002a). Esto ocurre a distintos niveles geográficos y jerárquicos, y sus impactos tienen una fuerte importancia en la escala que se manifiestan, ya sea global, continental, nacional, territorial o local y que trasciende entre estos niveles jerárquicos.

Por tanto, al considerar que el desarrollo sustentable incluye a la agricultura, surgió la necesidad de encontrar un modelo alternativo, para superar los inconvenientes del modelo productivista que basa el desarrollo en la generación de bienes económicos y materiales, sin contemplar los daños a largo plazo sobre la base de los recursos naturales. Este nuevo modelo de desarrollo sustentable tiende a lograr múltiples objetivos: establece prioridades, es un proceso dinámico redefinido por la sociedad, promueve procesos endógenos a través del desarrollo local, añade a la eficacia la condición de eficiencia en el uso de los recursos, incorpora la noción de límites, permanencia y equidad al desarrollo (Dixon y Fallon, 1989); se define como “la capacidad de las presentes generaciones de satisfacer sus necesidades, sin comprometer la capacidad de que las futuras generaciones las satisfagan también” (WCED, 1987), y es la base de las acciones para el desarrollo sustentable de las últimas tres décadas. La sustentabilidad es un proceso para el desarrollo, aunque puede significar diferentes cosas para diferentes actores sociales, lo cual se debe a la confusión entre los términos ecología y

sustentabilidad. Sin embargo, sustentabilidad es algo más general, con objetivos a largo plazo; anteriormente se reducía a aspectos de contaminación y conservación, actualmente abarca la dimensión económica, social y política. Además, la dimensión ambiental o ecológica no puede dejarse a un lado, sino que más bien son una exigencia social internacional.

En este sentido, el concepto e implicaciones de la sustentabilidad agrícola dependen del contexto en el cual se implemente, por ejemplo, en Estados Unidos en la década de los años 90s la agricultura sustentable se limitaba a una concepción economicista (Blake, 1990). Sin embargo, una visión unidimensional del concepto puede fomentar agroecosistemas no sustentables en una región y condicionar el desarrollo socioeconómico, producir migración, aumentar problemas sanitarios y disminuir la calidad de vida de la población (Pérez *et al.*, 1998). Los conceptos de sustentabilidad agrícola y los métodos desarrollados para su evaluación han cambiado en el tiempo, lo cual está en función de tres situaciones principalmente: la primera relacionada con el avance del conocimiento empírico (teorías y paradigmas) y científico (conocimiento disciplinario y tecnología), así como de los medios disponibles para su evaluación, prueba de esto es la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que se emplean para el diseño de agroecosistemas más sustentables y los avances en programas de modelación para la predicción de escenarios, entre otros. La segunda tiene que ver con el entendimiento de lo que es y lo que busca la sustentabilidad agrícola por parte de los diferentes actores de la sociedad (agricultores, investigadores, políticos, consumidores y distribuidores de los productos), que si bien algunos de ellos no están interesados propiamente en la sustentabilidad agrícola, intervienen directa o indirectamente en su desarrollo a nivel local, regional o global. La tercera situación se refiere a la característica

del proceso de la sustentabilidad, el concepto evoluciona junto con las condiciones y necesidades del ambiente y la sociedad, que son los dos componentes y objetivos del concepto, y en donde el resultado es una presión de la población humana sobre la naturaleza.

4.1.2 La agricultura y la sustentabilidad

La agricultura sustentable es comprendida como un conjunto de prácticas para obtener alimentos, fibras y demás productos que satisfagan las necesidades alimentarias de la población, que constituyen el medio de desarrollo económico, humano y social de quienes las practican, en donde además se busca conservar y mejorar los recursos naturales, como la base para mejorar sus características productivas en el tiempo (Astier, 2007). Sin embargo, se han presentado confusiones en el término, por la aparición de sinónimos como: agricultura de bajos insumos, agricultura alternativa, agricultura orgánica, granja regenerativa, mejoramiento de prácticas de manejo y máxima producción económica, entre otros; no obstante, la característica que relaciona estos conceptos es que todos son opciones para lograr una agricultura sustentable.

Una de las primeras crisis agrícolas se presentó en los años 60s, cuando no había alimentos suficientes para la población mundial, y se resolvió con la implementación de tecnologías originadas por la Revolución Verde a mediados de los años 70s y cuyos resultados se hicieron evidentes a finales de la década de los años 80s, cuando se obtuvo el incremento en la producción de alimentos para la población creciente, aunque no se alcanzó la equidad en la distribución de los alimentos (Blake, 1990), pues este no era el objetivo primordial. Actualmente se tiene una nueva crisis en la disponibilidad de alimentos, originada por la

degradación de los recursos naturales en las áreas agrícolas a nivel mundial, la variación incontrolada de los precios internacionales con la supuesta globalización, y el empleo de suelos y materias primas agrícolas en la producción de biocombustibles, esto último debido a la problemática relacionada con la disponibilidad de petróleo, además de los efectos evidentes del calentamiento global (PNUD, 2007).

Lo anterior muestra la existencia de diferentes percepciones acerca de la agricultura sustentable, que además han evolucionado con el avance del conocimiento y las exigencias sociales (Cuadro1) (Guadarrama, 2007). Entonces, el concepto de agricultura sustentable es dinámico y cambia según las condiciones y circunstancias bajo las cuales se desarrolla. Cada vez incrementan los objetivos de la agricultura, desde la producción de alimentos, hasta la producción de combustibles. Sin embargo, se trata de hacerlo con bases filosóficas y una aceptable ética sobre el uso y conservación de recursos naturales; situación que se prevé imposible, si se mantienen las presiones actuales sobre la base de los recursos (Rodríguez y Govea, 2006).

Cuadro 1. Criterios de producción agrícola (adaptado de Guadarrama, 2007)

Enfoque	Campos científicos involucrados	Insumo principal	Importancia
Agricultura convencional	Agronomía	Paquete agroquímico	¿Dominante?
Biotecnología/transgénicos	Genética/genoma	Gen	En desarrollo
Agricultura de precisión/sistemas expertos	Ingeniería, informática, ciencias computacionales, sistemas de información geográfica	Información, simulación, modelaje	En desarrollo y en consolidación Emergente
Producción integrada	Agronomía, biología, ecología	Manipulación de prácticas agrícolas	En desarrollo
Agricultura orgánica	Agronomía, biología, agroecología	Productos químicos	no En desarrollo
Agricultura sustentable	Agroecología, ecología, sustentabilidad	Interacciones ecológicas, sociales y económicas	Emergente y en desarrollo ¿Co-dominante?

4.1.3 Implicaciones de la agricultura sustentable

La agricultura sustentable no es únicamente el uso de mejores prácticas con menor uso de agroquímicos, manejo intensivo o conservación de los recursos, sino que involucra la dimensión agronómica, ambiental, social, económica y política, de tal manera que los resultados a través del tiempo permiten la regeneración de los recursos naturales (Stenholm y Waggoner, 1990; Farshad y Zinck, 1993) o su mantenimiento. De esto, surgen las interrogantes: ¿Qué tipo de cambios sociales y económicos se requieren para lograr una agricultura sustentable?, ¿Cómo determinar si un tipo de agricultura es o no sustentable?, para

ello hay que determinar también ¿Qué es lo que realmente se requiere evaluar?, sobre todo por el elemento temporal ligado al concepto, porque debe incluir a las futuras generaciones. En este sentido, Sarandón (2002b) menciona que se ha establecido una escala temporal de sustentabilidad e insustentabilidad, con un límite a 25 años de permanencia de un sistema agrícola dado. Sin embargo, esta clasificación puede resultar un tanto insuficiente, si se considera que se han reportado sistemas de cultivo de granos en Irán, funcionando y cumpliendo con sus objetivos, bajo condiciones de manejo tradicional por más de 700 años (Zinck *et al.*, 2006), al igual que sucedió con la agricultura prehispánica de México o en los sistemas agrícolas de China. En este sentido, la sustentabilidad es un fenómeno multidimensional e interrelacionado (ecológica, económica y social), multiactor (con la presencia de diferentes actores sociales) y multinivel (interrelaciones entre lo local y lo global), y no un concepto fragmentado, aislado y limitado a un solo actor social (González *et al.*, 2007). Para que un agroecosistema se considere sustentable debe ser política y socialmente aceptable, económicamente viable, agrotécnicamente adaptable, institucionalmente manejable y ambientalmente saludable, según el modelo de los seis pilares sugerido por Farshad y Zinck (2001).

Es complicado definir cómo debería ser la agricultura sustentable como un fenómeno complejo, porque incluye diferentes dimensiones con objetivos particulares que inclusive pueden ser opuestos entre sí. Sin embargo, la clave para lograr la sustentabilidad de los sistemas agrícolas radicará en su capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones biológicas, económicas y sociales, para cumplir con sus objetivos primarios y causar el mínimo deterioro

de la base de los recursos naturales, apoyada además en la identificación y evaluación de sus indicadores respectivos (Ruiz, 2006).

4.1.4 Evaluación de la sustentabilidad agrícola

La evaluación de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas es una herramienta útil para los tomadores de decisiones en los diferentes niveles del sector agrario; sirve para plantear o replantear políticas de gestión, para lograr un equilibrio entre adecuados niveles de producción en el tiempo, para conservar los recursos naturales y para mejorar la calidad de vida de las familias agrícolas y la sociedad en general. En cuanto a la generación de conocimiento científico, es útil conocer la sustentabilidad de los sistemas agrícolas para identificar interacciones o procesos que potencian y limitan el adecuado desarrollo de los sistemas, y dirigir los esfuerzos y recursos (económicos y humanos) a su estudio y mejoramiento.

Actualmente existen marcos metodológicos concretos para evaluar la sustentabilidad, aunque según Sarandón (2002b), la mayoría de los propuestos solo sugieren cuáles son las cualidades que debe tener un sistema de producción, para considerarse sustentable. Sin embargo, también es cierto que no existe una forma única de evaluar la sustentabilidad, porque depende del objetivo y tipo de pregunta a responder; también puede ser una evaluación descriptiva o comparativa. En la primera, el punto de comparación es el tiempo, se realiza en un sistema único y no es suficiente conocer si es sustentable o no, sino cuáles son los puntos débiles de la sustentabilidad; en la segunda, más común y sencilla, la comparación se realiza entre dos o más sistemas y busca saber cual es más sustentable (Sarandón, 2002b). Sin embargo, es un hecho que la sustentabilidad obligadamente debe considerar el factor tiempo, por lo que las

evaluaciones también pueden ser retrospectivas y responder a ¿Qué pasó? y ¿Cuál de los sistemas ha sido mejor en el tiempo?, para lo cual se requiere tener evidencia del estado inicial y actual de la variable a evaluar; o prospectivas y responder a ¿Qué va a pasar?, determinadas mediante una evaluación en el tiempo (mide indicadores en intervalos predeterminados de tiempo), o una evaluación de tendencias y predicción (método más difícil y poco preciso, pero más útil, porque permite proponer medidas correctivas); esta es una opción para la planificación. Al respecto, la predicción de escenarios para proveer sistemas de producción sustentables puede ser una herramienta de utilidad (Kates *et al.*, 2001), aunque estos escenarios no proveen una indicación de probabilidades definitivas, sí proporcionan las posibilidades de proyectar la toma de decisiones, con tendencias y valores simulados apegados a los valores reales (Clark *et al.*, 2001).

Generalmente se han propuesto tres dimensiones o atributos para evaluar la sustentabilidad agrícola: la ecológica, económica y social, dentro de las cuales se evalúan las propiedades de productividad, estabilidad, elasticidad y equidad, mismas que se determinan con variables o indicadores e índices (Müller, 1995; Masera *et al.*, 1999; Ruiz, 2001). Además, los indicadores que se consideran en cada una de las dimensiones varían en función del nivel jerárquico en el que se realiza la evaluación. Para Ruiz (2001), la evaluación de sustentabilidad agrícola no debe basarse en valores fijos o puntuales, más bien deben establecerse rangos, es decir, valores mínimos y máximos en las diferentes dimensiones que integran la sustentabilidad (económica, ecológica y social), dentro de los cuales puede ubicarse y diferenciarse el grado de sustentabilidad que tiene un agroecosistema dado, sin

rebasar los límites, dado que fuera de esos límites se tendría un agroecosistema no sustentable, lo mismo ocurre con las dimensiones política, institucional y humana (Figura 1).

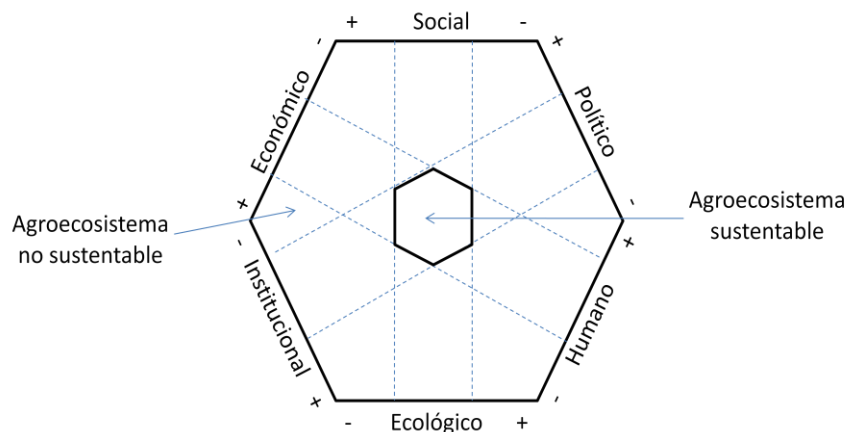


Figura 1. Área de sustentabilidad agrícola (modificado de Ruiz, 2001)

4.1.5 La jerarquización de la sustentabilidad agrícola

Dentro del sector agrícola existen diferencias entre sistemas de una misma localidad, región, país y continente, lo cual es una función del nivel económico y de conocimientos de los productores, condiciones ambientales, entre otros. Así para evaluar la sustentabilidad es necesario considerar estas diferencias, y establecer en qué nivel jerárquico se requiere conocer la sustentabilidad (Müller, 1995).

La sustentabilidad agrícola comprende diferentes dimensiones y propiedades; sin embargo, no todas son factibles de evaluar en todos los niveles jerárquicos (Ruiz, 2006). Por ejemplo, la dimensión política es más adecuado evaluarla a nivel región y país, que a nivel cultivo o finca, pues aunque sus normatividades influyen en su desarrollo de diferentes formas, no es a estos niveles en los que se desarrolla o controla. De esta manera, Müller (1995) propone cuatro

jerarquías principales para la evaluación de la sustentabilidad agrícola: cultivo, finca, cuenca hidrológica y país. Con el método MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad) propuesto por Masera *et al.* (1999), la sustentabilidad se evalúa preferentemente a nivel de parcela o comunidad. Ruiz (2001) sugiere la evaluación de la sustentabilidad agroecológica a nivel cuenca hidrológica y municipios, mientras que Torres *et al.* (2004) sugieren cuatro niveles para evaluar la sustentabilidad agrícola: parcela, unidad de producción, cuenca y región, y consideran este último de mayor importancia, por integrar un mayor número de componentes e interacciones. Esto coincide en cierto punto con Zinck *et al.* (2004), quienes indican que la sustentabilidad agrícola debe evaluarse en cuatro diferentes niveles jerárquicos: sistema de manejo de tierra, sistema de cultivo, sistema de producción y sistema de sector agrícola; esta clasificación se basa exclusivamente en el uso de los recursos naturales y de la productividad de alimentos. Para Astier (2007), la evaluación de la sustentabilidad agrícola es a escala global, nacional, regional y local, y se evalúan diferentes interacciones complejas entre tecnología, ambiente y sociedad. Lo anterior sugiere que las diferentes dimensiones de sustentabilidad se adicionarán a medida que se avance de manera ascendente de acuerdo a los niveles jerárquicos, comenzando con factores biológicos y químicos en el primer nivel que será el cultivo, hasta contemplar índices de producción, rentabilidad, políticas agrícolas y de comercio entre otros a nivel país.

4.1.6 Métodos de evaluación de la sustentabilidad agrícola

Para evaluar la sustentabilidad se ha propuesto una serie de métodos (Astier *et al.*, 2000), los cuales pueden integrar técnicas cuantitativas y cualitativas. Estos métodos han evolucionado a la par del conocimiento y la tecnología, desde los que se referían casi exclusivamente a aspectos ecológicos y de producción, hasta metodologías que logran representar sistemas dinámicos complejos. A continuación se describen algunos marcos en orden cronológico (Cuadro 2).

Los métodos obedecen a las características de los sistemas agrícolas para los que se desarrollan y los objetivos a cumplir. En este sentido, en los métodos expresados en el Cuadro 2, se aprecia que se avanza hacia una integración metodológica que permita su aplicación en agroecosistemas y niveles jerárquicos diferentes, que además realicen predicciones en tiempo y espacio, para obtener herramientas potenciales para investigar la sustentabilidad agrícola y planear el desarrollo agrícola sustentable.

Cuadro 2. Algunos métodos para evaluar sustentabilidad agrícola y desarrollo sustentable.

Metodología	Autores	Nivel jerárquico	Disciplinas	Característica
Agroecosistema	Conway (1985)	Sistema de producción agrícola	Agronomía y ecología	Determina la estabilidad del sistema e identifica variables de riesgo para su corrección
Uso de indicadores de sustentabilidad	De Camino y Müller (1993)	Agricultura a gran escala (país, región)	Ecología y economía	Integra cuatro categorías de análisis; analiza los subsistemas del sistema y lo relaciona con sistemas independientes
FESLM (Marco de Evaluación del Manejo Sustentable de Tierras)	Smyth y Dumanski (1993)	Parcela o región agrícola (uso de la tierra)	Ecología, economía y sociología	Caracteriza los sistemas de producción, monitorea indicadores. Evalúa las prácticas agrícolas y las relaciona con la sustentabilidad de las tierras
Método de Presión-Estado-Respuesta	OECD (1993)	Desde comunidades hasta país	Ecología y economía	Evalúa el impacto de las actividades humanas, a través del manejo de la agricultura, sobre el ambiente
Indicadores de sustentabilidad agrícola	Müller (1995)	Agricultura a nivel parcela, cuenca hidrológica, región y país	Agronomía, ecología y economía.	Presenta una integración de indicadores de diferentes disciplinas. Diferencia indicadores por el nivel jerárquico
MESMIS (Marco para Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad)	Masera <i>et al.</i> (1999)	Sistemas de producción agrícola, con menor aplicación a niveles mayores	Ecología, sociología y economía	Caracteriza los sistemas de producción, y los evalúa de acuerdo a indicadores de siete atributos dentro de cuatro dimensiones. Se ha evaluado poco a nivel región
MARPS (Mapeo Analítico Reflexivo y Participativo de la Sustentabilidad)	Imbach <i>et al.</i> (1999)	Desarrollo sustentable regional	Economía y sociología	Evalúa el desarrollo de las acciones planteadas para el desarrollo sustentable regional. Incluye los sistemas agrícolas dentro de la región
Indicadores de sustentabilidad agrícola a nivel cuenca hidrológica	Ruiz (2001)	Cuenca hidrológica	Economía, sociología y ecología	Establece y monitorea indicadores a largo plazo, los grafica para apreciar su desarrollo de manera dinámica. Establece rangos de sustentabilidad, en los cuales pueden ubicarse los valores obtenidos de los indicadores

Cuadro 2, continuación.

SAM (Sustainable Agroecosystem Model)	Belcher <i>et al.</i> (2004)	Sistema de producción agrícola, (agroecosistema)	Economía, ecología y modelaje	Divide el agroecosistema en submodelo económico y ambiental, selecciona indicadores y crea escenarios en base a modelaje temporal y espacialmente. La selección de indicadores adecuados constituye la principal dificultad
Marco regional de indicadores de sustentabilidad	Torres <i>et al.</i> (2004)	Desarrollo sustentable regional (regiones homogéneas)	Economía, sociología y ecología	Integra seis dimensiones, de las cuales destaca la cultural. Dentro de la región la agricultura se considera como un subsistema básico. No se ha evaluado en regiones con amplios rangos de heterogeneidad
BIOGRAMA (Metodología para Estimar el Nivel de Desarrollo Sostenible en Territorios Rurales)	Sepúlveda <i>et al.</i> (2005)	Desarrollo sustentable desde una finca hasta un país	Economía, sociología y ecología	Es una metodología que permite la evaluación del desarrollo sustentable, cuenta con un programa de cómputo para manejar la información y graficar. Evalúa el desarrollo del territorio en periodos largos de tiempo
Evaluación de sustentabilidad, aplicando gestión de territorio	Urzelai <i>et al.</i> (2006)	Enfoque territorial	Ecología, sociología, economía y política	Identifica relaciones causa efecto y analiza usando modelación de sistemas dinámicos. Se constituye como una técnica multidisciplinaria
Uso de indicadores para evaluar sustentabilidad en sistemas de producción animal	Nahed <i>et al.</i> (2006)	Sistemas de producción pecuarios	Ambiental, social y económico	Para la evaluación se establecen indicadores para comparar sistemas pecuarios, con manejos diferentes en una misma región geográfica y con un mismo fin productivo
Sustentabilidad como concepto situado	Cáceres (2006)	Sistemas agropecuarios	Ecología, social y económica	Considera características ecológicas y socioeconómicas de los sistemas y su entorno, y los objetivos de las instituciones responsables de utilizar la información, para desarrollar los indicadores

4.1.7 Uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad agrícola

Por ser un concepto, la sustentabilidad tiene que hacerse operativa como tal, pues no puede medirse directamente y requiere de la identificación de variables que proporcionen medidas directas y que en su conjunto constituyen indicadores para determinar los niveles de sustentabilidad en los sistemas agrícolas (Zinck y Farshad, 1995). Un indicador es una variable que sirve para describir y monitorear procesos, estados y tendencias de los sistemas agrícolas, y se clasifican como de reserva (estado) y flujo (cambio), por disciplinas (económico, ambiental, social, institucional, política, humana), instrumentos de políticas (normatividades y leyes), también deben definirse con base en el nivel jerárquico, tipo de usuario (actores, beneficiarios, tomadores de decisión, entre otros) y propiedad emergente (Ruiz, 2001; Zinck *et al.*, 2004).

Los indicadores tienen la característica de cuantificar, simplificar y ayudar a entender realidades complejas. Son agregados de datos crudos y procesados, que pueden ser conjuntados para formar índices complejos, claves para la toma de decisiones (Ruiz, 2006), al permitir visualizar tendencias que de otra forma es difícil de detectar, y proporcionar claridad al sintetizar una gran cantidad de información. Un indicador de sustentabilidad debe cumplir ciertas características: a) estar estrechamente vinculado con la sustentabilidad; b) ser adecuado al objetivo perseguido; c) mostrar sensibilidad a los cambios; d) tener habilidad predictiva; e) ser fácil de interpretar; f) contar con facilidad de recolección; g) ser confiable e importante, y h) ser robusto e integrador, es decir, que sintetice mucha información pertinente (Ruiz, 2001). Los indicadores pueden detectar cambios en el sistema y establecer las relaciones causa-efecto (Farrell y Hart, 1998). En este sentido, Zinck *et al.* (2004) proponen cuatro niveles jerárquicos

para considerar a la agricultura, con unidades específicas de estudio en cada una de ellas, y además proponen los indicadores y técnicas de evaluación a emplearse, para comprender su funcionamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Niveles de evaluación de sustentabilidad en agricultura y sus indicadores

Nivel jerárquico	Unidad	Indicador	Enfoque / técnica
Sistemas de manejo de la tierra	Unidad de suelo	Propiedad de suelo	Control de calidad
Sistema de cultivo	Parcela	Rendimiento de cultivo	Diferencia de rendimientos
Sistema de producción	Finca	Entradas y salidas	Balance energético
Sistema de sector agrícola	Región o país	Índices parciales: Agrodiversidad, eficiencia del sistema, recursos tierra, seguridad alimentaria	Índice agregado

Fuente: Zinck *et al.* (2004)

Por tanto, en la evaluación de la sustentabilidad agrícola es importante que los indicadores utilizados provengan de información cualitativa obtenida a través de técnicas participativas con los productores y demás actores del proceso agrícola, complementada con información cuantitativa recabada en los agroecosistemas con métodos pertinentes y directos. De esta manera se hará una mejor interpretación del sistema real y se podrán hacer sugerencias de mejoría con una mayor certeza.

4.1.8 Conclusiones

La evaluación de la sustentabilidad agrícola puede realizarse considerando como unidad de estudio desde un cultivo o lote de ganado, hasta el nivel de país, y ser bajo diferentes enfoques. Sin embargo, poco se considera la actitud y conocimiento de los controladores y beneficiarios de los sistemas agrícolas, sobre la sustentabilidad como objetivo. El saber y entender las relaciones biológicas, físicas, económicas y sociales sirve para generar conocimiento, pero si además se conoce la actitud de quien o quienes las modifican, controlan, establecen o se benefician de ellas, se podrá actuar en la realidad y esto se logra contemplando la dimensión humana en la evaluación participativa de la sustentabilidad. También es necesario definir el método de evaluación con un mismo principio, en donde se respete la adición y ponderación de indicadores adecuados en los diferentes niveles jerárquicos de evaluación, que sea integrador y capaz de emplearse en todos los niveles planteados. Además, una adecuada manera para evaluar la sustentabilidad puede ser sustituir el rigor de los valores fijos en los indicadores de referencia por rangos y fuera de ellos se consideraría como un agroecosistema no sustentable.

4.1.9 Literatura citada

- Astier, M. 2007. Estado del arte sobre la evaluación de sustentabilidad y derivación de indicadores en el contexto local. *En*: IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A. C. Boca del Rio, Veracruz. Noviembre 20. pp 90-102.
- Astier, M., Esparza, P. A., Mota, G. F. y R. O. Masera. 2000. El diseño de sistemas sustentables de maíz en la región Purépecha. *En*: Masera R. O. y R. S. López (eds). Sustentabilidad y sistemas campesinos. Cinco experiencias de evaluación en el México rural. Mundi Prensa. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA A.C.). PUMA. Instituto de Ecología, UNAM. pp. 271-323.

- Belcher, K. W., Boehm, M. M. and M. E. Fulton. 2004. Agroecosystem sustainability: a system simulation model approach. *Agricultural Systems*, 79:225-241.
- Blake, R. O. 1990. Nine questions most often asked about global agricultural sustainability. *Soil Water Conservation*, 45(4):460-462.
- Cáceres, D. 2006. Sustentabilidad como concepto situado. Un marco conceptual para la construcción de indicadores. *Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario*, 8:189-200.
- Clark, J., Carpenter, S. and M. Barber. 2001. Ecological forecasts: an emerging imperative. *Science*, 293: 657-658.
- Conway, G. R. 1985. Rapid rural appraisal and agroecosystem analysis: A case study from Northern Pakistan. *In: International conference on Rapid Rural Appraisal*. Faculty of agriculture, University of Khon Kaen (FA UKK). Thailand, September 25.
- De Camino, R. y S. Müller. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales; bases para establecer indicadores. Serie de documentos de programas No. 38. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)/GTZ. 133 p.
- Dixon, J. and L. Fallon. 1989. The concept of sustainability: origins, extensions and usefulness for policy. *Society and Natural Resources*, 2:73-84.
- Farell, A. and M. Hart. 1998. Ability really mean? The search for useful indicators. *Environment*, 40(9):5-31.
- Farshad, A. and J. A. Zinck. 1993. Seeking agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 47:1-12.
- Farshad, A. and J. A. Zinck. 2001. Assessing agricultural sustainability using the six-pillar model: Iran as a case study. *In: S. Gliessman (ed), Agroecosystem sustainability: Developing practical strategies*. CRC Press, Boca Raton. pp. 137-151.

- Gliessman, S. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en Agricultura sostenible. Tropical Agriculture Research and Higher Education Center (CATIE). Turrialba, Costa Rica. pp 10-50.
- González, F. R., Gerritsen, R. W. P. y K. T. Malischke. 2007. Percepciones sobre la degradación ambiental de agricultores orgánicos y convencionales en el ejido La Ciénega, municipio de El Limón, Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 7(25):215-239.
- Guadarrama, Z. C. 2007. Agroecología en el siglo XXI: confrontando nuevos y viejos paradigmas de producción agrícola. *Revista Brasileña Agroecológica*, 2(1):204-207.
- Imbach, A., Dudley, E., Ortiz, N. y H. Sánchez. 1999. Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) Mapeo analítico, reflexivo y participativo de la sostenibilidad (MARPS). Una aproximación integral de la evaluación del progreso hacia la sostenibilidad. Cambridge, U. K. Serie herramientas y capacitación. 55 p.
- Jansen, K. and S. Vellema. 2004. *Agrobusiness and Society, Corporate Responses to Environmentalism, Market Opportunities and Public Regulation*, Ed. Zed Books. London, England. pp 20-30.
- Kates, R., Clark, W. y R. Corell. 2001. Sustainability science. *Science*, 292:641-642.
- Masera, O., Astier, M. y R. S. López. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales (el marco de evaluación MESMIS). GIRA, UNAM, México, D.F. 103 p.
- Müller, S. 1995. Evaluating the sustainability of agriculture at different hierarchical levels: a framework for the definition of indicators. Scientific Workshop on Indicators of Sustainable Development. Wuppertal, Germany. November 15-17.
- Nahed, T. J., Castel, J. M., Mena, Y. and F. Caravaca. 2006. Appraisal of the sustainability of dairy goat systems in Southern Spain according to their degree of intensification. *Livestock Science*, 101:10-23.
- OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico). 1993. Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. Paris Francia. <http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>. 21 Julio 2009.

Pérez, N. J., Volke, H. V., Martínez, M. M. y Ch. M. Estrella. 1998. Erosión, productividad y rentabilidad de dos suelos del estado de Oaxaca. *Agrociencia*, 32 (2):113-118.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2007. Informe sobre desarrollo humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático, solidaridad frente a un mundo dividido. PNUD, 1 UN Plaza, Nueva York, N.Y., 10017, EEUU. ISBN: 978-84-8476-322-2.

Rodríguez, I. y H. Govea. 2006. El discurso del desarrollo sustentable en América Latina. *Revista Venezolana de economía y ciencias sociales*. 12(02):37-63.

Ruiz, R. O. 2001. The systems approach for sustainable development at catchment and parish group levels. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 8:79-84.

Ruiz, R. O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. *En: López, B. O., G. S, Ramírez., G. M. Ramírez., B. G. Moreno y G. A. E. Alvarado (eds). Agroecología y Agricultura Orgánica en el trópico. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Universidad Autónoma de Chiapas. México. pp 59-67.*

Sarandón, S. J. 2002a. La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El impacto de la agricultura intensiva de la Revolución Verde. *En: S. J. Sarandón (ed). Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones científicas Americanas. La Plata, Argentina. pp 23-48.*

Sarandón, S. J. 2002b. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. *En: S. J. Sarandón (ed). Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones científicas Americanas. La Plata, Argentina. pp 393-414.*

Sepulveda, S., Chavarría, H., Rojas, P., Castro, A., Bolaños, D., Picado, E. y M. Guilleme. 2005. Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible en territorios rurales (El BIOGRAMA). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 67 p.

Smyth, A. and J. Dumanski. 1993. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. FAO, World Soil Resources Report 73. Roma, Italia. 85 p.

- Stenholm, C. W. and D. B. Waggoner. 1990. Low-input, sustainable agriculture: myth or method?. *Journal of soil and water conservation*, 1:13-17.
- Torres, L. P., Rodríguez, S. L. y J. O. Sánchez. 2004. Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional. *El marco de la agricultura. Región y Sociedad*, 16(29):109-144.
- Urzelai, A., Olazábal, M., García, G., Santa Coloma, O., Herranz, K., Abajo, B., Acero, J. A., Feliu, E. e I. Aspuru. 2006. Modelización de un sistema territorial “urbano-rural” para la evaluación de su sostenibilidad. Aplicación a una zona representativa de País Vasco. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 1:159-172.
- WCED (World Commission on Environment and Development). 1987. *Our Common Future. The Bruntland Report*, Oxford University Press from the World Commission on Environment and Development, New York. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. 22 Septiembre 2009.
- Zinck, J. A. and A. Farshad. 1995. Issues of sustainability and sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, 75: 407-412.
- Zinck, J. A., Berroterán, J. L., Farshad, A., Moameni, A., Wokabi, S. and E. Van Ranst. 2004. Approaches to assessing sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 23(4):87-109.
- Zinck, J. A., Berroterán, J. L., Farshad, A., Moameni, A., Wokabi, S. y E. Van Ranst. 2006. La sustentabilidad agrícola: un análisis jerárquico. Instituto Nacional de Ecología (INE). <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/465/sustentabilidad.html>. 23 Julio 2009.

4.2 Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura

Resumen

Desde el inicio de la agricultura, hace aproximadamente diez mil años, la humanidad se ha beneficiado de sus productos al satisfacer con ellos sus necesidades de alimentación y comercializarlos. Los sistemas de producción agrícola son más organizados y productivos,

como resultado del mayor conocimiento sobre agricultura. Sin embargo, la especialización dentro de la agronomía ha propiciado en algunos casos la implementación de innovaciones técnicas que soslayan elementos clave de los sistemas de producción, como los aspectos sociales, culturales, climáticos, o las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, originando el fracaso en la práctica. El uso de los diferentes tipos de modelos dentro de la agricultura ha surgido como una alternativa de planificación e investigación, dado que pueden utilizarse para predecir el comportamiento de una planta o animal con diferentes manejos, las características del suelo, la interacción entre diferentes cultivos, y el comportamiento de sistemas de producción con interacción de ganado y cultivos. Actualmente se ha incorporado el efecto de políticas agrícolas, racionalidad de los productores, características del mercado y aspectos ambientales. Desde el enfoque de los agroecosistemas estos modelos se han usado para simular la sustentabilidad, bajo una visión holística y sistémica. Otra evolución importante ha sido considerar al productor como un sujeto que participa en la modelación y no como un componente más del sistema a modelarse, en el denominado modelaje participativo. Por lo tanto, el objetivo del presente documento es analizar los distintos enfoques de la aplicación de los modelos para el estudio y planificación agrícola, y sus retos.

Palabras clave: Componentes, modelación, sistemas de producción agrícola

Application of simulation models in the study and planning of agriculture

Abstract

Since the beginnings of agriculture, nearly ten hundred years ago, mankind has benefited from the use of its products by satisfying the need for food and by trading them. The agricultural

production systems are become more organized and productive, as a result of a greater knowledge on agriculture. However, specialization in agronomy has led in some cases to the implementation of technical innovations that put out key elements of the production systems, such as social and cultural aspects, climate, and physical, chemical and biological soil properties, that result in failure in the practice. The use of different types of models in agriculture has become an alternative for planning and research, since they can be used to predict the behavior of a plant or animal under different management practices, the soil characteristics, the interaction among different crops, and the behavior of production systems in which livestock and crops interact. Currently the effect of agricultural policies, the rationality of producers, the market characteristics and the environmental aspects have been incorporated. According to the agroecosystems approach these models have been used to simulate the sustainability, under a holistic and systemic point of view. Another important development has been to consider the producer as a subject that participates in the modeling process and not is one more component of the system that needs to be modeled, in what is called the participative modeling. Therefore, the objective of this paper is to analyze the different approaches for the application of the models for the study and planning of agriculture, and their challenges.

Keywords: Components, modeling, agricultural production systems

4.2.1 Introducción

Un modelo es la representación simplificada de un sistema, donde se describen las variables dependientes e independientes de interés, características y restricciones mediante símbolos, diagramas y ecuaciones (Wadsworth, 1997, García, 2008). Pueden ser descriptivos o de simulación; en los primeros únicamente se representan los componentes del sistema, mientras que en los segundos se imita el funcionamiento del sistema y se obtienen resultados predictivos, en forma de datos numéricos o gráficos (Bowen y Jaramillo, 2003). En el ámbito científico, los modelos se han empleado en diferentes disciplinas, logrando mejorar el conocimiento de las características y el funcionamiento de los sistemas o elementos evaluados (Bowen y Jaramillo, 2003). Para el manejo y planificación de los sistemas, el uso de modelos permite una representación anticipada de la administración y uso de los componentes y recursos, así como de la adición, sustracción o modificación de interacciones y relaciones (García, 2008). Por las ventajas del modelaje en la exploración de sistemas, y por la importancia de la agricultura en el desarrollo de la humanidad y el uso de los recursos naturales, se ha desarrollado el uso de modelos para su estudio y planificación como una herramienta para obtener una producción optimizada, eficiente y sustentable (Walter *et al.*, 2003; Stoorvogel *et al.*, 2004). No obstante, la agricultura es un fenómeno con múltiples implicaciones biológicas, económicas, sociales, culturales, humanas, políticas y de mercado (Bowen y Jaramillo, 2003, Stoorvogel *et al.*, 2004), por lo que obtener modelos para incluirlas en su totalidad es una tarea difícil de conseguir, pero con gran importancia para complementar los esfuerzos en la investigación y planeación agrícola. Con base a lo anterior, el objetivo del

presente documento es contribuir con un análisis del uso de modelos en la evaluación y planificación de la agricultura, bajo diferentes enfoques.

4.2.2 Definición de modelo

Un modelo puede ser una representación conceptual, numérica o gráfica de un objeto, sistema, proceso, actividad o pensamiento; destaca las características que el modelador considera más importantes del fenómeno en cuestión, por lo que se emplea para analizar exhaustivamente cada una de sus relaciones e interacciones, y con base en su análisis, predecir escenarios futuros para dicho fenómeno. Así, un modelo puede describirse como una representación simplificada de un sistema real, y es en esencia, una descripción de entidades y la relación entre ellas (García, 2008). Así, el modelado o modelaje puede considerarse como un método eficiente para reducir y entender la complejidad de los sistemas.

Sin embargo, con el uso del modelaje se puede exagerar en la simplificación o en la adición de relaciones o cualidades que en realidad no existen, dependiendo del grado de conocimiento del modelador sobre el fenómeno en cuestión. En este sentido, Medín (2006) define un modelo como una representación esquemática de un sistema dinámico, que no llega a ser un duplicado de la realidad, sino que la simplifica exagerando y omitiendo rasgos. El modelaje no es algo nuevo, pues toda persona en su vida privada y en sus relaciones comunitarias usa modelos para tomar decisiones. Los modelos, al igual que cualquier herramienta empleada para procesar información, tienen como objetivos el mejorar el entendimiento sobre los sistemas en estudio para probar teorías científicas, predecir el resultado de una combinación

de situaciones en el sistema, o controlar el sistema estudiado y producir resultados anticipados (Ortega *et al.*, 1999).

A pesar de las limitaciones que tiene el empleo de modelos de simulación en la investigación, facilita el estudio de los sistemas, aún cuando estos puedan contener muchos componentes y mostrar numerosas interacciones como cuando se trata con conjuntos complejos y de gran tamaño.

4.2.3 Tipos de modelos

Existen diferentes tipos de modelos, en función de la finalidad para la cual se crean o diseñan. Sus clasificaciones son variadas, y buscan dar una idea de sus características esenciales, y pueden ser con base en su dimensión, función, propósitos y grado de abstracción. Cada fenómeno de la realidad se puede representar por medio de un modelo, por lo cual, según el número y tipo de fenómenos existentes en el mundo real, será el número y tipo de modelos posibles, aunque los tipos básicos son icónico, analógico y simbólico o matemático. En este sentido, De Souza y González (2001) clasificaron a los modelos según su propósito y el grado de extracción de la realidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tipos de modelo por su función y grado de extracción del fenómeno

Tipo	Característica
	Por su propósito
Descriptivos	Describe las características del fenómeno en cuestión; emplea la observación sistemática y participante, encuestas, entrevistas, estudios etnográficos, entre otros.
Explicativos	Busca conocer las causas que originan un fenómeno. Llega a generalizaciones extensibles más allá de los sujetos analizados. Se basa en obtener muestras representativas de los sujetos, usa diseños experimentales para el control del experimento y el análisis de datos.
Predictivo	Se basa en datos anteriores y en técnicas específicas como regresión múltiple, procesos etnográficos, procesos estocásticos, simulación o análisis causal.
Por el grado de extracción de la realidad	
Físicos	Aparatos biomédicos y cabinas espaciales.
Escala	Prototipo de la célula y del sistema solar.
Analógicos	Se representa la propiedad del objeto real por una sustituida, que se comporta de manera similar; se usa en entrenamientos y ayuda para la instrucción.
Interactivos	Escenarios predefinidos y juegos.
De entrada y salida	Simulación de mercados y sistemas de procesos estocásticos.
Lógicos	Se basa en la formulación de hipótesis, puede expresarse en forma de enunciado condicional entre dos proposiciones, que pueden o no ser válidas.
Matemáticos	Se basa en ecuaciones funcionales para explicar los fenómenos del mundo real, es el modelo de mayor abstracción.

Fuente: De Souza y González (2001)

4.2.4 Importancia del uso de modelos en la agricultura

Según Gormley y Sinclair (2003), en el desarrollo de la ciencia se han diseñado y aplicado modelos durante siglos en diferentes disciplinas; sin embargo, los relacionados con los

procesos agrícolas y ambientales se han implementado en las últimas décadas. Esto obedece a que en diferentes situaciones es más fácil trabajar con los modelos que con los sistemas reales, ya sea porque el sistema es demasiado grande y complejo, por limitación de recursos humanos y económicos, o por la imposibilidad de experimentar en dichos sistemas. Es por esto que en la investigación y planificación agrícola el desarrollo de modelos para simular diferentes procesos relacionados con su eficiencia, se ha convertido en una práctica común que, sustentada con la información científica disponible, es útil para pronosticar resultados en situaciones y condiciones específicas; lo que permite plantear nuevas hipótesis y orientar la investigación o el manejo hacia los puntos más críticos.

El modelaje también se considera una buena opción para transferir conocimientos generados sobre diversas prácticas agrícolas en diferentes regiones, pues aunque el conocimiento no se transfiere directamente de una granja a otra, especialmente si se encuentran en ambientes diferentes, sí se puede usar para diseñar su manejo a través de la simulación (Rotz *et al.*, 2005a). También en la agricultura se puede emplear el modelaje cuando se pretende modificar un sistema que involucra numerosos componentes y relaciones y es importante contar con escenarios simulados, para experimentar los cambios antes de llevarlos a la práctica, especialmente cuando éstos involucran objetivos críticos, como la seguridad agroalimentaria, el manejo y conservación de recursos naturales, rentabilidad de los sistemas, entre otros. Además, la simulación es una herramienta que permite hacer una evaluación rápida y barata sobre el comportamiento de un sistema agrícola en un periodo largo de tiempo (Rotz *et al.*, 2005b).

En la década de los años 60s los modelos en la agricultura se usaron inicialmente para evaluar procesos individuales como evapotranspiración, propiedades hidráulicas del suelo, crecimiento de las plantas o cultivos y el contenido de nutrientes del suelo. Posteriormente, en los años 80s, se usaron para evaluar sistemas de pastoreo, movilización de nutrientes en sistemas de cultivo, erosión y productividad del suelo, crecimiento de cultivos anuales, producción de cultivos, contaminación de agua, ciclos de nutrientes y la dinámica de la materia orgánica en suelos. A partir de los años 90s, aparecieron modelos que bajo el enfoque de agroecosistemas integran los componentes del sistema de manera multi o interdisciplinaria, para evaluar el impacto de la política agrícola sobre la degradación del suelo, el impacto ambiental y la rentabilidad económica de sistemas agrícolas alternativos, el impacto de la economía y la política regional sobre la agricultura, el efecto de políticas de manejo sobre emisiones de minerales en la agricultura, y la evaluación de pesticidas y fertilizantes sobre el suelo y el clima (Belcher *et al.*, 2004). En particular, se han modelado los factores que intervienen en el cambio de uso de suelo, con las prácticas agrícolas como componente principal, desde una visión espacial, económica, socioeconómica y política (Sandoval y Oyurzun, 2003).

En algunas disciplinas del conocimiento y en la toma de decisiones se usan los modelos de simulación, lo que se justifica principalmente cuando la operación de las estrategias propuestas o la experimentación son costosas, riesgosas o se duda de su grado práctico. En el caso de la agricultura, por ser una actividad desarrollada con base en el manejo de los recursos naturales que son susceptibles al deterioro, a la inestabilidad económica, y por su indiscutible trascendencia en la seguridad alimentaria, es importante prever la pertinencia de las decisiones

de cambio. Por ejemplo, es útil disponer de escenarios que contemplen el efecto del uso de tecnologías novedosas, pues si bien el conocimiento es universal, las regiones agrícolas del mundo en las cuales se genera, presentan contrastes, y por tanto, un conocimiento aplicable a una región puede no serlo en otra y tener resultados negativos. De esta manera, la simulación es una forma de evaluación previa del cambio, con los inherentes errores ocasionados por la simplificación propia de este ejercicio, aunque la mayoría de los modelos empleados en agricultura cuando se comparan con datos reales muestran un desempeño aceptable. También debe mencionarse que se pueden obtener resultados erróneos al elaborar los modelos, principalmente por errores en la introducción de la información, falta de experiencia del modelador o por una inapropiada simplificación de los procesos durante el desarrollo del modelo (Huang *et al.*, 2008). Por lo tanto, es importante validar el modelo; es decir, comprobar que tenga la capacidad de representar adecuadamente a los componentes e interacciones del sistema real. Sin embargo, debe considerarse que no se llega a tener una representación total del sistema, solo de alguno o algunos de sus procesos (Orestes *et al.*, 1994).

4.2.5 Algunos modelos desarrollados para evaluar cultivos agrícolas

Un modelo de simulación es un conjunto de ecuaciones que representa procesos, variables y relaciones entre variables de un fenómeno del mundo real y que proporciona indicios aproximados de su comportamiento bajo diferentes manejos de sus variables (Pérez *et al.*, 2006). Los modelos permiten abordar una cuestión abstracta, en cuyo caso su finalidad es puramente teórica, o una situación real, orientado a dar una respuesta concreta (García, 2004), formalizar en un modelo de simulación nuestra percepción del fenómeno real y simular el

efecto de diferentes alternativas. El desarrollo de modelos para la representación de sistemas de cultivos se ha realizado a lo largo de los años para representar y evaluar diferentes procesos y bajo diferentes enfoques y disciplinas. A continuación se presenta una descripción de trabajos de uso de modelos de simulación en actividades agrícolas en orden cronológico, realizados en los últimos 20 años por diferentes autores en distintas regiones del mundo.

En Toledo, España, Ortega *et al.* (1999) al utilizar modelos de simulación para evaluar escenarios de optimización del uso de agua de riego en diferentes cultivos crearon tres submodelos; el primero determinó las necesidades de agua de los cultivos, el segundo estableció un programa de riegos considerando las necesidades del cultivo, la evapotranspiración y la precipitación real, y el tercero estimó el rendimiento en función de las láminas netas de riego, considerando diferentes restricciones de evapotranspiración; el resultado fue un programa de manejo de riego para 16 diferentes cultivos a nivel regional. Por otro lado, Rodríguez y López (2000), obtuvieron mapas de recursos hídricos, energéticos y de operación para remodelar sistemas de riego y drenaje en sistemas de cultivo de arroz en Cuba, combinando modelos de simulación con un sistema de información geográfica, y lograron simular el riego en diferentes superficies, obteniendo el comportamiento hídrico, con lo que se pudieron diseñar terrazas arroceras.

Por su parte, Gutiérrez *et al.* (2002) utilizaron modelos de simulación para obtener escenarios referentes a los niveles de agua de acuífero del valle de Querétaro, México, en un periodo de 15 años (1995 a 2010); consideraron tres niveles de uso del agua por diferentes sectores –uso público urbano, agrícola e industrial–, y encontraron que el nivel de uso actual del agua

llevará a la desaparición del patrón de cultivos, por lo que proponen acciones expresadas en uno de los escenarios considerados para revertir esta situación. Este es un claro ejemplo del uso de los modelos de simulación para la toma de decisiones a escalas regionales, acerca del uso de los recursos naturales.

La simulación también se ha empleado en la selección de material genético; Preciado *et al.* (2002), desarrollaron un modelo que permitió asistir en la selección de materiales de maíz de ciclo precoz adaptado en ambientes de secano con temporal, a través de la simulación del crecimiento de las plantas, con base en su desarrollo fisiológico originado por el efecto de los factores climáticos. Por su parte, Singels y De Jager (1991) utilizaron modelos de simulación para determinar las características óptimas de un genotipo de trigo, en diferentes tipos de climas y suelo.

Una herramienta más integradora es el paquete denominado Sistema de Apoyo para Decisiones de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT), que agrupa modelos de simulación de suelo, agua y nutrientes, y permite simular el desarrollo de 16 cultivos en cualquier región, y el efecto de su rotación a largo plazo. Presenta cuatro niveles de simulación. En el primero, se asume que la disponibilidad de radiación, temperatura y el potencial genético son las limitantes del desarrollo del cultivo; el agua y los nutrientes no limitan, es una estimación del rendimiento potencial. El segundo considera que el desarrollo del cultivo es limitado por la disponibilidad del agua, pero la disponibilidad de nutrientes no es limitante. En el tercero, la disponibilidad de nitrógeno representa una posible limitación. En el cuarto nivel se considera

a la disponibilidad de fósforo, además de las restricciones de los niveles anteriores (Bowen y Jaramillo, 2003).

Sin embargo, los modelos de simulación de las características del suelo agrícola deben diseñarse en una amplia escala temporal y espacial, para entender mejor los procesos. A nivel regional, es necesario considerar los diferentes usos agrícolas del suelo, dado que los procesos desarrollados en un cultivo influyen en los cultivos contiguos; también es conveniente la representación tridimensional del relieve de suelo de la región. Temporalmente se requiere que abarque un número de años necesarios para brindar datos históricos del manejo de los suelos (Walter *et al.*, 2003). Más recientemente y considerando el discurso del cambio climático, Streck y Alberto (2006) usaron los modelos de simulación para crear escenarios del efecto de dicho cambio sobre la fracción de agua aprovechable del suelo en cultivos de trigo (*Triticum aestivum*), soya (*Glycine max*) y maíz (*Zea mays*), y encontraron que cuando incrementa la temperatura del aire, decrece la fracción de agua aprovechable, y este efecto es más evidente en los cultivos de soya y maíz que en el cultivo de trigo.

Combinando la experimentación en campo con el uso de modelos de simulación, Cory *et al.* (2006) evaluaron el efecto del tipo de labranza –convencional y de conservación– sobre la erosión hídrica del suelo en tierras de ladera con cultivos de trigo. Con la información recabada en campo, al igual que con datos del modelo, los sistemas con labranza de conservación presentaron menor erosión; sin embargo, el modelo no fue capaz de representar todos los procesos y relaciones complejas entre elementos observados en campo.

Para evaluar servicios ambientales hidrológicos a nivel cuenca, Pérez *et al.* (2006) proponen un modelo de simulación dinámico y complejo, que tiene la particularidad de hacer proyecciones en sistemas en los que no existe un monitoreo permanente de datos. Este tipo de modelación se puede utilizar para desarrollar políticas de manejo del agua a nivel cuenca, relacionando los diferentes usos del recurso, entre los que destaca el agrícola, por su importancia socioeconómica.

Para simular sistemáticamente la rotación de cultivos de manera estocástica, en periodos específicos de un año y considerando el cultivo del año anterior, Castellazzi *et al.* (2008) proponen un modelo matemático que pronostica en un periodo largo de tiempo los efectos de la rotación de los cultivos sobre el cambio climático y la economía, además tiene la capacidad de considerar otras variables externas. Otros autores con anterioridad han usado la modelación en el desarrollo de rotaciones de cultivos (Dogliotti *et al.*, 2003; Rounsevell *et al.*, 2003; Stöckle *et al.*, 2003; Bachinger y Zander, 2006). Aunque usaron la técnica de optimización matemática de programación lineal para obtener rotaciones que ayudan en la planificación de la producción agrícola, estos modelos explican, optimizan o predicen las rotaciones de cultivos cuando se fijan restricciones de carácter biológico, económico u otras. Sin embargo, asumen que la única limitante es la restricción establecida, lo cual no sucede en la realidad, en donde hay una interacción de diferentes condicionantes. El modelaje se ha implementado con éxito en diferentes sistemas de cultivo con distintos niveles de tecnificación. También es útil para evaluar la sustentabilidad en sistemas de subsistencia localizados en lugares frágiles como laderas, que pueden generar diversos procesos de degradación ambiental. Sin embargo, por las características propias de estos sistemas, como la diversificación de cultivos en tiempo

y espacio, la itinerancia (recorridos durante el año en busca de recursos como agua y forraje para ganado, o cambios periódicos de las áreas de para cultivos) y el uso de implementos manuales, los modelos convencionales para predicción de cultivos no logran representar su condición, por lo cual los modelos diseñados deben ser capaces de evaluar estos sistemas, tratando de hacerlos sencillos y de que operen con información fácil de conseguir (Silva y Puche, 2001).

La representación y explicación de los sistemas agrícolas a través del uso de modelos de simulación puede ser tan eficiente y adecuada como las capacidades y conocimientos del modelador lo permitan. En este sentido, es adecuado conformar equipos de trabajo de diferentes disciplinas y con diferentes habilidades, pues las relaciones y procesos en el interior del sistema responden a la interacción entre los subsistemas, y como son de diferente naturaleza se requiere de la interacción entre disciplinas para comprender el mayor número de ellos. Así mismo, es necesario prestar especial atención en la síntesis de la información para el cumplimiento de los objetivos del modelo.

4.2.6 Algunos modelos desarrollados para evaluar sistemas pecuarios

En los sistemas de producción ganadera también se han usado modelos. Algunos estudian o describen las relaciones biológicas para conocer el comportamiento fisiológico de un animal, y se les denomina mecanísticos (France y Thornley, 1984; Bind, 2003); otros integran todos o algunos elementos del sistema general, para representar su funcionamiento. También pueden simular las decisiones del manejo de los sistemas pecuarios, con lo que se obtiene información del comportamiento de dicho sistema de acuerdo al manejo integrado del pastoreo del ganado

y cultivos, con especial énfasis en el manejo del agua, nutrientes y pesticidas (Ascough *et al.*, 2001). En estos modelos se ha incorporado la evaluación del ciclo de los nutrientes, el impacto ambiental de las prácticas de manejo empleadas en el sistema y el efecto de políticas de producción, comercio, ambientales, entre otras, en su desarrollo. Pomar *et al.* (1991) desarrollaron un modelo discreto y estocástico de simulación, para sistemas de producción de cerdos, el cual representa la dinámica reproductiva de la piara, considerando parámetros genéticos de los animales, composición de la dieta y prácticas de manejo implementadas. En esta misma década bajo una visión exclusivamente económica y productivista, Pannell (1995) evaluó índices económicos y de producción en un sistema de cría de ovinos, usando modelos de simulación.

En fincas ganaderas, Holmann (2000) utilizó un modelo de simulación, integrado por cinco submodelos, para predecir escenarios futuros, según diferentes estrategias de manejo forrajero; consideró factores claves como el costo de producción de leche, inversión requerida por cada estrategia, viabilidad de obtener y pagar el crédito, y porcentaje del área en pasturas liberada para usos alternativos. Este programa consiste únicamente en una hoja de cálculo, en donde se introducen restricciones a los diferentes factores. También permite analizar las actividades agropecuarias en forma práctica y flexible, a nivel de una cuenca o región, y facilita el análisis ex-ante de nuevas alternativas tecnológicas para determinar su viabilidad tanto biológica como económica, permitiendo conocer las condiciones necesarias para promover su uso en una determinada región.

Los cinco submodelos empleados para representar y evaluar actividades ganaderas desarrollados por Holmann (2000) son: 1) TAMU–Beef, predice el nivel de productividad (ganancia de peso) de diferentes categorías de animales dentro de un hato productor de carne, considerando el potencial genético o como respuesta al tipo de la alimentación disponible; 2) JAVA/PC-Herd, desarrollado para el trópico, es un modelo simple que pide los requisitos de mantenimiento y ganancia de peso o producción de leche deseada, y lo compara contra la oferta de energía en la dieta, según una función de consumo voluntario seleccionada por el usuario; 3) CNCPS, predice la producción de leche o ganancia de peso, con base en el flujo neto de carbohidratos y proteína disponible en la dieta, y contiene una lista de alimentos y forrajes para escoger el más parecido al utilizado; 4) GRAZFEED, predice la producción de leche, carne o lana con base en la oferta de nutrientes en la dieta, en hatos y rebaños mantenidos en pastoreo; y 5) EDINBURGH, es un modelo general de sistemas de producción de bovinos diseñado en forma modular, que integra producción de pasturas con respuesta animal en submodelos que pueden usarse en forma individual, y predice la producción de leche o carne tanto a nivel individual (por vaca) como de hato.

Para obtener estimaciones biológicas en estudios del sistema ruminal de bovinos, Vargas *et al.* (2004) proponen el modelo mecanístico Turix v1.0, el cual consta de ciertas suposiciones en cuanto al alimento, al funcionamiento del rumen y su variabilidad; se compone de 11 variables y tres submodelos: de degradación del alimento, del crecimiento bacteriano y de la fermentación microbiana. Con base en las pruebas de ajuste realizadas, se determinó que dicho modelo es una herramienta confiable para obtener información biológica en un sistema ruminal cerrado. Por su parte, Rotz *et al.* (2005a) desarrollaron un modelo complejo y

dinámico de simulación del ciclo de nitrógeno (N) en suelos ganaderos, considerando componentes de entrada, como el aporte de N orgánico de la fauna edáfica, el N fijado por herbáceas y por las heces del ganado, el N inorgánico de fertilizantes, N fijado de la atmósfera y por orina del ganado, y componentes de salida, como productos de la ganadería y de herbáceas, amonio producido por herbáceas y oxidación y lixiviación de N inorgánico. Además, el modelo contempló la transformación de N inorgánico a orgánico, dentro del sistema. Por otra parte, Castellaro *et al.* (2006) utilizaron modelos matemáticos para representar la relación entre factores intrínsecos de ovinos, como el consumo, ganancia de peso y uso de suplemento, y factores de la pradera, como el balance hídrico, crecimiento y senescencia del forraje; posteriormente simularon dinámicamente diferentes alternativas del uso de los componentes, con lo que obtuvieron diversas opciones para manejar el sistema. Los resultados fueron una buena predicción ($P < 0.05$) con respecto a datos experimentales, lo que indicó la validez del uso de modelos para representar los sistemas ganaderos a base de pastoreo.

Un modelo del crecimiento, fenología y balance hídrico en praderas anuales de clima mediterráneo fue implementado por Castellaro y Squella (2006), considerando como variables las condiciones climáticas, la disponibilidad de material fotosintético y la humedad del suelo. Este modelo fue capaz de explicar el 90% de la variación de los valores observados en la acumulación de materia seca y la humedad del suelo. Los mismos autores proponen que, dada la compleja naturaleza del sistema suelo-planta-clima-animal, el uso de modelos de simulación es una herramienta útil para evaluar manejos alternativos de praderas, en distintos ambientes edafoclimáticos. Castellaro *et al.* (2007) simularon la ganancia de peso en bovinos

de diferentes razas en un sistema de producción de carne y con distintos manejos de pradera, tipo de pastoreo, densidades de carga, estrategias de suplementación y precios de insumos, con el objetivo de evaluar diferentes alternativas de manejo general del sistema. Sin embargo, aunque se reportó al menos una estrategia adecuada de manejo con base a los resultados del modelo, no se obtuvieron resultados reales aceptables al aplicar el manejo en el sistema.

Los resultados anteriores muestran que la complejidad de los modelos ha aumentado con el paso de los años, y que se ha tratado de hacer una representación más completa de los sistemas modelados mediante la integración multivariable en un enfoque sistémico. Esto puede deberse a tres razones separadas o combinadas, que son la interacción de las diferentes disciplinas del conocimiento (interdisciplina), un incremento en el conocimiento y experiencia sobre la modelación, y el avance en la tecnología del manejo de información. Actualmente existen en el mercado programas computacionales que permiten modelar sistemas complejos y dinámicos con relativa facilidad y a gran velocidad, algunos ejemplos son Vensim® PLE (Ventana Systems, Inc., 2010), Stella (Isee systems, 2010), Powersim (Powersim Software A. S., 2010) y Simile (Simulistics, 2003), entre otros.

4.2.7 Los modelos y el enfoque en agroecosistemas

Enfocando los modelos a los agroecosistemas se estudia y planea la agricultura, logrando una interrelación entre la agronomía, la ecología y la teoría de sistemas; además, se busca entender a los sistemas de producción con base en las interacciones entre sus componentes a diferentes escalas geográficas. Los componentes del agroecosistema son biológicos (recursos naturales en su totalidad), sociales, políticos, económicos y humanos. Los objetivos productivos y de

conservación de los recursos son claves en estos sistemas. Dentro de la modelación también ha permeado el enfoque agroecosistémico, y algunos modelos reportados bajo este enfoque se mencionan a continuación.

Para crear un modelo de simulación del crecimiento de diferentes cultivos, Denizov (2001) sistematizó la información experimental generada en un instituto de investigación agrícola de Lituania. Este complejo modelo, llamado Dialog Simulator and Predictor for Research in Agriculture (DIASPORA), integra conocimientos de diferentes disciplinas para un mejor entendimiento y representación de los agroecosistemas en la relación agua-suelo-atmósfera; cuenta también con modelos simplificados para aplicaciones ya determinadas. Por su parte, Franco y Mirschel (2001) hacen una simulación de procesos complejos, representando el desarrollo de los cultivos y la dinámica de nutrientes en el suelo, con el modelo de crecimiento de cultivos AGROSIM-ZR (Agroecosystem Simulation- Sugarbeet ZR), que también modela procesos edáficos basados en el manejo agrícola. Para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas, Belcher *et al.* (2004) proponen el uso del modelo de simulación SAM (Sustainable Agroecosystem Model), que incluye los submodelos económico y ambiental, y recomiendan la simulación como una herramienta útil para evaluar la sustentabilidad a largo plazo; sin embargo, mencionan que los resultados varían de acuerdo a los indicadores utilizados, pues las diferentes decisiones originan mayores o menores cambios sobre el agroecosistema. Utilizando este mismo modelo e integrando un modelo económico que simula las decisiones de uso del suelo, más un modelo de crecimiento de cultivos y de calidad del suelo, Belcher *et al.* (2004) evaluaron la sostenibilidad de agroecosistemas, obteniendo

indicadores económicos (ganancia o beneficio y riesgo) y de suelo (contenido de materia orgánica, rendimiento de los cultivos y pérdida de carbono) proyectados en el tiempo.

Con el fin de modelar cómo los valores humanos influyen a través de las decisiones de manejo sobre el cambio del uso del territorio de una región, Acevedo *et al.* (2007) utilizaron modelos para simular la interacción humano-ambiental, bajo el enfoque de biocomplejidad, que es la relación de los sistemas humanos con los naturales. También bajo este enfoque, Martínez y Esteve (2007) simularon factores ambientales y socioeconómicos que controlan la exportación de nutrientes a una laguna, consideraron la dinámica del N y fósforo, cambios de uso de suelo, papel de los humedales litorales en la retención y eliminación de los nutrientes que llegan desde la cuenca, la dinámica poblacional y la entrada de nutrientes procedentes del medio urbano.

Sin duda es importante conocer el ciclo de carbono en agroecosistemas de cultivos por ser la principal fuente de energía de los microorganismos edáficos, uno de los principales responsables de la fertilidad del suelo (Álvarez y Biancucci, 2006; Julca *et al.*, 2006), particularmente cuando se logra conocer a nivel región. En este sentido, se desarrolló el modelo Agro-C, que permite simular el ciclo del carbono en agroecosistemas, y que consta de los submodelos de carbono del cultivo y carbono del suelo. Además, predice la circulación del carbono con base en la simulación de la fotosíntesis del cultivo, la respiración autotrófica y la producción primaria neta. Este modelo puede aplicarse a áreas con diferentes características de clima, suelo, rotación de cultivos y prácticas agrícolas (Huang *et al.*, 2008).

Aunque la inclusión de las diferentes dimensiones que afectan el desarrollo de los agroecosistemas (económica, ambiental, social, humana y cultural, entre otras) en un modelo de simulación trata de describir de manera integrada su funcionamiento, puede existir cierta incompatibilidad en los resultados. Es decir, una práctica con mejores resultados económicos puede ocasionar un conflicto social o ecológico. Por tal razón, es importante obtener un resultado final global, que otorgue a cada dimensión un nivel jerárquico de importancia, acorde con la situación real del sistema que se pretende modificar. Por ejemplo, si se trata de una región en donde existen diferencias culturales dentro de la población, la dimensión social es más importante, dado que puede limitar el buen funcionamiento del sistema.

4.2.8 Modelaje participativo

Aunque la investigación participativa se ha llevado a cabo desde hace varias décadas en la agricultura, con la finalidad de que los beneficiarios se apropien de su realidad y se vuelvan gestores de su propio desarrollo, en los procesos de modelación de sistemas agrícolas este enfoque de investigación se ha considerado recientemente. Al respecto, Matthews *et al.* (2000), mencionan que aunque muchos modelos han sido útiles para los investigadores que los elaboraron, pocos han sido utilizados para apoyar el desarrollo de políticas o para mejorar la toma de decisiones. Por esta razón Gormley y Sinclair (2003) sostienen que es esencial consultar a los actores involucrados, durante todas las etapas de desarrollo del modelo, para mejorar el resultado de los modelos sobre manejo de recursos naturales como una herramienta en la toma de decisiones. Sin embargo, en la literatura existen pocos estudios reportados que abordan el modelaje participativo. Así, uno de los pocos trabajos de este tipo es el desarrollado por Gormley y Sinclair (2003) en Costa Rica, en donde propusieron un modelo

de manejo agrícola, considerando la participación de los productores dentro del proceso de modelaje, con el objetivo de rescatar el conocimiento local del manejo de los recursos naturales y como herramienta auxiliar en la toma de decisiones de los participantes. En dicha propuesta examinaron la función de los árboles sobre la biodiversidad y productividad de las fincas, y como un nuevo enfoque para relacionar las actividades humanas con la conservación de los recursos naturales.

Por lo tanto, bajo el enfoque que se ha dado a los modelos para representar a la agricultura, a la forma en que sus procesos de aplicación han evolucionado en el tiempo, al incremento de los elementos considerados, y al tipo de intervención de los diferentes actores en la modelación, se identificaron tres etapas en el desarrollo de la modelación (Figura 2). En la primera, el modelador (científico) considera únicamente los componentes físicos y biológicos; en la segunda, se considera además el componente humano como tomador de decisiones, y los diferentes aspectos externos que influyen en el proceso, pero el productor sigue siendo un elemento de estudio; finalmente en la tercera, el productor o manejador del sistema se ubica junto al modelador y entre ambos modelan los elementos del sistema agrícola. Este último funciona bajo un enfoque participativo, en donde el productor se involucra en el proceso de diseño-evaluación y rediseño de los sistemas de producción.

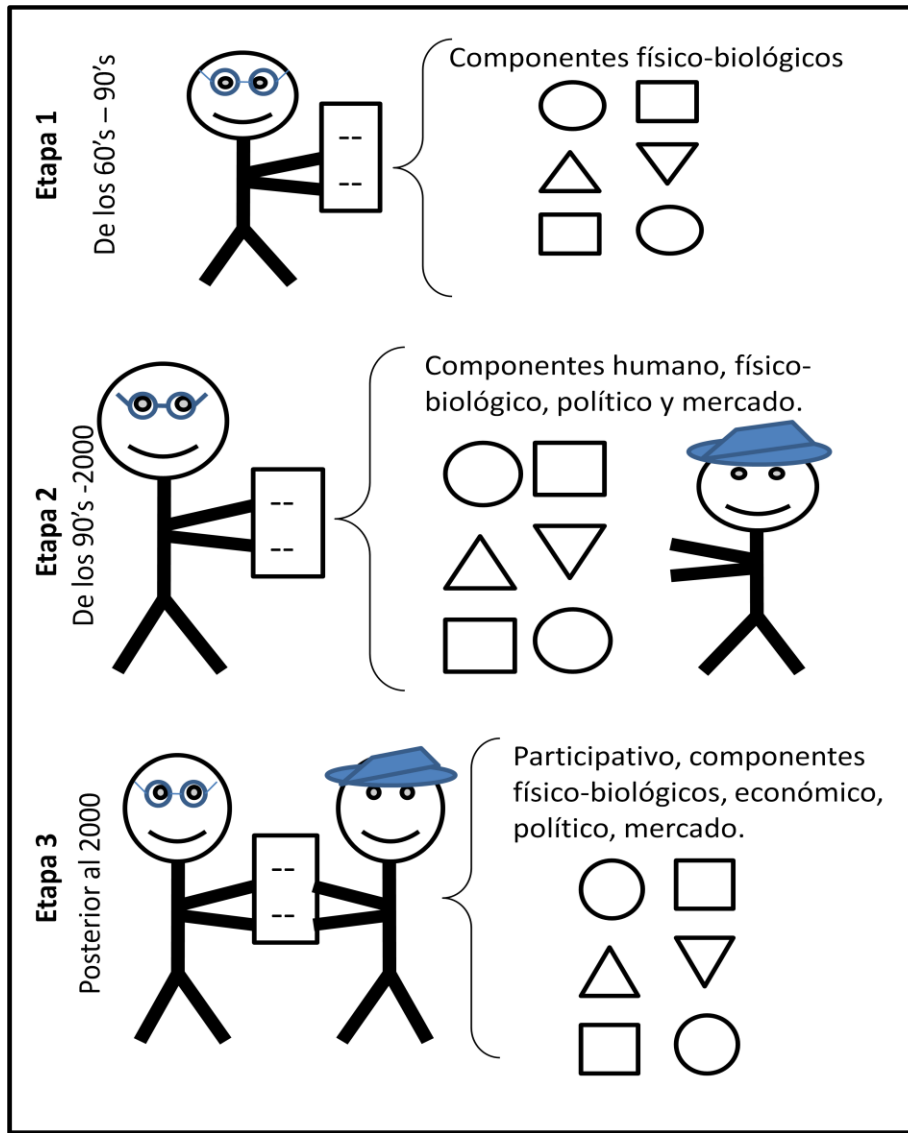


Figura 2. Evolución de la visión al aplicar modelos en agricultura

En las investigaciones y planeaciones del manejo de los recursos naturales es necesaria la participación de los productores, quienes hacen uso directo de los recursos, por ser ellos quienes toman y seguirán tomando la decisión de su manejo, ya que resulta de poca utilidad realizar simulaciones del manejo de los sistemas de producción con excelentes prácticas de manejo que quizá nadie realice en realidad, ya sea por su desconocimiento o por falta de interés. En cambio, al involucrar a los tomadores de decisiones (productores) en el proceso de

modelaje se gana por un lado el interés de su uso y por otro el aporte de conocimiento local más factible de practicarse, mismo que se complementa con conocimiento técnico de los especialistas. Sin embargo, en esta etapa de modelación participativa surgen algunos retos nuevos. Para que el proceso del modelaje pueda implementarse con éxito con los responsables de los sistemas de producción agrícola, es necesario explicar claramente la importancia y los beneficios prácticos de su uso, además, los modelos utilizados deben ser fáciles de interpretar y permitir hacer comparaciones entre los diferentes escenarios que se planteen en conjunto (Gormley y Sinclair, 2003).

También es necesario considerar que el rediseño de los sistemas debe ser un proceso a largo plazo, por lo tanto, las modificaciones a proponer deben ser paulatinas, pues cambios radicales lejos de propiciar interés por parte de los productores pueden ocasionar su desaliento y preocupación, o un rechazo a implementar cualquier cambio.

4.2.9 Conclusiones

El modelaje desempeña una función importante en la investigación y planificación de manejo de los sistemas de producción agropecuaria. Sin embargo, al igual que los paradigmas científicos y las herramientas empleadas para la evaluación de estos sistemas, la manera de realizar los modelos ha evolucionado, pasando de la simplicidad de relaciones causales lineales bi-variables al uso de modelos complejos sistémicos y dinámicos.

Los modelos de simulación debidamente evaluados y validados mejoran la eficiencia en los procesos de investigación, transferencia de tecnología y desarrollo agrícola, al permitir

extrapolar resultados a otras localidades con similares características y obtener posibles escenarios del funcionamiento del sistema con la innovación sugerida, lo que permite de cierta forma, hacer una evaluación antes de implementarla en el sistema real, esto es especialmente importante para hacer eficiente el uso y manejo de los recursos naturales, humanos y económicos. Además los modelos deben ser fáciles de interpretar y usar, para lograr su aceptación y uso por diferentes actores involucrados en la agricultura en distintas localizaciones. El trabajo interdisciplinario es necesario cuando se pretende representar sistemas agrícolas a través de modelos dinámicos, dado que su funcionamiento general, es el resultado de diferentes procesos desarrollados dentro y fuera del sistema; el solo hecho de identificarlos adecuadamente constituye ya un reto que incrementa su dificultad, cuando además se pretende recrearlos y relacionarlos como en el sistema real.

4.2.10 Literatura citada

- Álvarez, A. P. y Biancucci, M. 2006. Ciclo del carbono: materia orgánica y humus. Universidad Nacional de Comahue, Argentina. www.essa.uncoma.edu.ar/academica/materias/microbiologia_ambiental/informes_seminarios_2006/8_materia-organica-y-humus.pdf. 25 Julio 2010
- Acevedo, M. F., Rosales, J., Delgado, L., Ablan, M., Davila, J., Callicot, J. B. y M. Monticino. 2007. Modelos de interacción humano-ambiental: el enfoque de la biocomplejidad. *Ecosistemas*, 16(3). www.revistaecosistemas.net. 29 Septiembre 2008
- Ascough, J. C., Shaffer, M. J., Hoag, D. L., McMaster, G. S., Dunn, G. H., Ahuja, L. R. and M. A. Weltz. 2001. GPFARM: an integrated decision support system for sustainable Great Plains agricultural. *In*: D. E. Stott (ed). *Sustaining the global farm*. p. 951-960 <http://tucson.Ars.ag.gov/isco/isco10/table%20of%20contents.pdf>. 20 Septiembre 2008
- Bachinger, J. and P. Zander. 2006. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems. *European Journal of Agronomy*, 26(2):130–143.

- Belcher, K. W., Boehm, M. M. and M. E. Fulton. 2004. Agroecosystem sustainability: a system simulation model approach. *Agricultural Systems*, 79:225-24.
- Bind, M. 2003. Instrumentos para el monitoreo del impacto ambiental sobre la producción agrícola. Documento del diplomado Di scienze agronomiche e gestione del territorio agroforestale. Universidad degli Studi di Firenze. 13 p.
- Bowen, W. y R. Jaramillo. 2003. Modelos de dinámica de nutrientes en el suelo y en la planta. *En: manejo de la fertilidad del suelo en agroecosistemas de los Andes Tropicales/manejo integrado de plagas (MIP) vs. Manejo sostenible de suelos (MSS)*. Conferencia electrónica
- Castellaro, G. G., Gompertz, G., Aguilar, C., Vera, R. y R. Allende. 2006. Interacción de dos modelos de simulación para la evaluación de sistemas de producción ovina en el secano mediterráneo de Chile. *Cienc. Inv. Agr.*, 33(1): 47-56.
- Castellaro, G. G., Klee, G. G. y R. J. Chavarría. 2007. Un modelo de simulación de sistemas de engorda de bovinos a pastoreo. *Agricultura Técnica*, 67(2):163-172.
- Castellaro, G. T. y N. F. Squella. 2006. Modelo simple de simulación para la estimación del crecimiento, fenología y balance hídrico de praderas anuales de clima Mediterráneo. *Agricultura Técnica*, 66(3): 271-282.
- Castellazzi, M. S., Wood, G. A., Burgess, P. J., Morris, J., Conrad, K. F. and J. N. Perry. 2008. A systematic representation of crop rotations. *Agricultural Systems*, 97:26-33.
- Cory, G. R., Wu, Q. J., Singh, P. and K. D. McCool. 2006. WEPP simulation of observed winter runoff and erosion in the U.S. Pacific Northwest. *Vadose Zone Journal*, 5:261-272.
- De Souza, L. R. y D. O. González. 2001. Modelo de desarrollo sustentable en una comunidad rural. Grupo para promover la educación y el desarrollo rural A.C. México, D.F.
- Denisov, V. V. 2001. Development of the crop simulation system DIASPORA. *Agronomic Journal*, 93:660-666.

- Dogliotti, S., Rossing, W. A. H. and M. K. Van Ittersum. 2003. ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 19(2): 239–250.
- France, J. and J. H. M. Thornley. 1984. *Mathematical models in agriculture*. 1st Ed. Butterword & Co. Ltd. United Kingdom.
- Franco, U. and W. Mirschel. 2001. Integration of a crop growth model with a model of soil dynamics. *Agronomic Journal*, 93:666-670.
- García, J, M. 2008. *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas*. Fundación Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Cataluña, España. 84 p.
- García, J. M. 2004. *Sysware*. Barcelona, España. ISBN 84-609-2462-9. 315 p.
- Gormley, H. L. L. y L. F. Sinclair. 2003. Modelaje participativo del impacto de los arboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Latina. *Agroforestaría en las Américas*, 10(39-40):103-108.
- Gutiérrez, C. N., Palacios, V. E., Peña, D. S. y V. O. L. Palacios. 2002. Escenarios para el aprovechamiento del acuífero del Valle de Querétaro. *Agrociencia*, 36:1-10.
- Holmann, F. 2000. El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú. *En: XVI reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA)*. Montevideo, Uruguay. 24 p.
- Huang, Y., Yu, Y., Zhang, W., Sun, W., Liu, S., Jiang, J., Wu, J., Yu, W., Wang, Y. and Z. Yang. 2008. Agro-C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*. Artículo en prensa 10.1016/j.agrformet.2008.07.013. 20 Septiembre 2008
- Isee systems. 2010. *Stella (Systems Thinking for Education and Research)*. www.iseesystems.com/software/education/StellaSoftware.aspx. 20 Octubre 2010

- Julca, O. A., Meneses, F. L., Blas, S. R. y A. S. Bello. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *IDESIA Chile*, 24(1):49-61.
- Martínez, F. J. y S. M. A. Esteve. 2007. Gestión integrada de cuencas costeras: dinámica de los nutrientes en la cuenca del mar menor (sudeste de España). *Revista de Dinámica de Sistemas*, 3(1):2-23.
- Matthews, R., Stephens, W., Hess, T., Mason, T. and A. Graves. 2000. Applications of crop/soil simulations models in developing countries. Report PD. 82. Institute of Water and environment, Bedfordshire, UK. Cranfield University. 304 p.
- Medin, M. J. 2006. Función de la sistemodinamica en la universidad. Conferencia Magistral, Bayamón.
- Orestes, N., Shrade, F. K. and K. Beliz. 1994. Verification, validation and confirmation on numerical models in the earth science. *Science*, 264:641-646.
- Ortega, J. F., De Juan, J. A., Tarjuelo, J. M., Merino, R. y M. Valiente. 1999. Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: aplicación de la agricultura de regadío de la provincia de Toledo. *Invest. Agricultura y Producción Vegetal*, 14(3):325-354.
- Pannell, D. J. 1995. Economic aspects of legume management and legume research in dryland farming systems of southern Australia. *Agricultural Systems*, 49:217-236.
- Pérez, M. O., Delfín, C., Fregoso, A. y H. Cotler. 2006. Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos. *Gaceta Ecológica*, 78: 65-84.
- Pomar, C., Harris, L. D., Savoie, P. and F. Minvielle. 1991. Computer simulation model of swine production systems:III. A dynamic herd simulation model including reproduction. *Journal Animal Science*, 69:2822-2836.
- Powersim Software A. S. 2010. Powersim <http://www.powersim.no/> 25 enero 2011.

- Preciado, R. E., Erazo, M., Quijano, J. A., Terrón, A. y R. Paredes. 2002. Simulación del crecimiento de maíces precoces en condiciones de secano. *Agronomía Mesoamericana*, 13(02):123-128.
- Rodríguez, J. A. y G. López. 2000. Planificación de recursos para la modernización de los sistemas arroceros mediante el empleo de modelos de simulación y SIG. *Agr. Prot. Veg.*, 15(3):181-194
- Rotz, C. A., Buckmaster, D. R. and J. W. Comerford. 2005a. A beef herd model for simulating feed intake, animal performance, and manure excretion in farm system. *Journal Animal Science*, 83:231-242.
- Rotz, C. A., Taube, F., Russelle, M. P., Oenema, J., Sanderson, M. A. and M. Wachendorf. 2005b. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. *Crop Science*, 45(6): 2139-2159.
- Rounsevell, M. D. A., Annetts, J. E., Audsley, E., Mayr, T. and I. Reginster. 2003. Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95(2-3):465-479.
- Sandoval, V. y V. Oyarzun. 2003. Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. Quebracho. *Revista de Ciencias Forestales*, 11:9-21.
- Silva, O. y M. Puche. 2001. Uso de modelos de simulación para evaluar sistemas agrícolas de subsistencia en tierras de ladera. 2nd International Symposium Modelling Cropping Systems. Florencia, Italia. Sp.
- Simulistics, 2003. Simile. <http://www.simulistics.com>. 7 Octubre 2010
- Singels, A. and J. M. De Janger. 1991. Determination of optimum wheat cultivar characteristics using a growth model. *Agricultural Systems*, 37:25-38.
- Stella 2010. <http://www.iseesystems.com/software/Education/StellaSoftware.aspx>. 15 Octubre 2010.

- Stöckle, C. O., Donatelli, M. and R. Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*, 18:289–307.
- Stoorvogel, J. J., Boum, J. And Orlich, R. A. 2004. Participatory research for systems analysis: prototyping for a Costa Rican banana plantation. *Agronomy Journal*, 96(2): 323-336.
- Streck, A. N. y M. C. Alberto. 2006. Simulacao do impacto da mudanca climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. *Ciencia Rural*, 36(2):424-433.
- Vargas, V. L., Ku, V. J., Vargas, V. F. y P. S. Medina. 2004. Modelo para la estimación de tres parámetros ruminales biológicos. *Interciencia*, 29(6):296-302.
- Ventana Systems Inc. 2010. Vensim ® PLE. <http://www.vensim.com/cgi-bin/download.exe>. 7 Octubre 2010
- Wadsworth, J. 1997. Análisis de system de producción animal: las herramientas básicas. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Roma, Italia. ISBN 92-5-304089-0.
- Walter, C., Rossel, V. R. A. and A. B. McBratney. 2003. Spatio-temporal simulation of the field-scale evolution of organic Carbon over the landscape. *Soil Science Society American Journal*, 67:1477-1486.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS DE LA MICROCUENCA PASO DE OVEJAS 1: ESTRUCTURA, FUNCIÓN Y PRÁCTICAS DE MANEJO PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

Resumen

Se realizó la caracterización de los agroecosistemas (AES) de la microcuenca Paso de Ovejas 1, con la finalidad de conocer su estructura y funcionamiento. La microcuenca se localiza en la parte de lomeríos del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, donde se practica la agricultura de temporal, misma que constituye la principal fuente de ingreso económico de los productores. La información se obtuvo a través de la técnica de la encuesta con el apoyo de un cuestionario estructurado, aplicado a 65 productores responsables de AES, que representan el 10.6 % del total de familias dedicadas a la agricultura en la microcuenca. Para la interpretación de los resultados se utilizó análisis multivariado por conglomerados, los rubros considerados fueron: disponibilidad de tierra, número de componentes del AES, prácticas de manejo de los componentes y prácticas de conservación de los recursos naturales. Con base en el análisis multivariado, se caracterizaron tres grupos de AES: *G1*) AES con tendencia a la ganadería, con la mayor disponibilidad de tierras agrícolas y número intermedio de prácticas agrícolas, *G2*) AES con tendencia a cultivos agrícolas, menor disponibilidad de tierras y prácticas agrícolas, y *G3*) AES con tendencia a la ganadería, disponibilidad intermedia de tierras y mayor número de prácticas agrícolas. En *G1* todos los productores manejan principalmente ganado bovino y más de un cultivo agrícola. En el *G2*, 44 % de los productores no tiene ganado bovino y maneja más de dos cultivos. En el *G3*, 70 % de los productores tiene ganado bovino. La actividad agrícola representa la principal fuente de ingresos en los tres grupos. Se observó que existe una tendencia hacia la diversificación e interacción de componentes agrícolas dentro de los AES de la microcuenca, lo cual constituye

una estrategia de seguridad agroalimentaria bajo las condiciones climatológicas y de mercado propias de la región.

Palabras clave: Agricultura de temporal, diversidad agrícola, caracterización agrícola, prácticas de conservación.

CHARACTERIZATION OF THE PASO DE OVEJAS 1 MICRO-WATERSHED AGROECOSYSTEMS: STRUCTURE, FUNCTION AND MANAGEMENT PRACTICES FOR THE CONSERVATION OF NATURAL RESOURCES

Abstract

The agroecosystems (AES) of the Paso de Ovejas 1 micro-watershed were characterized, with the aim to know their structure and functioning. The micro-watershed is located in the low hills area of the municipality of Paso de Ovejas, Veracruz, where rain-fed agriculture is practiced, which is the main source of money income for the producers. The information was obtained through the survey technique supported with a structured questionnaire that was applied to 65 farmers who are in charge of AES, and that represent 10.6 % of the total number of families dedicated to agriculture in the micro-watershed. The results were analyzed by a multivariate cluster analysis, considering: availability of land, number of components of the AES, management practices of the components and natural resource conservation practices. Based on the multivariate analysis, three groups of AES were characterized: G1) AES with a tendency to livestock, the highest availability of agricultural lands and with some agricultural practices; G2) AES with a tendency to growing crops, reduced availability of land and few agricultural practices; and G3) AES with a tendency to livestock, medium land availability and higher number of agricultural practices. In G1 all the producers have mainly cattle and

more than one crop. In G2, 44% of the producers do not have cattle, but have more than two crops. In G3, 70% of the producers have cattle. Agriculture is the main source of money income for the three groups. It was found that there is a tendency towards the diversification and interaction of agricultural components in the AES of the micro-watershed, which represents a strategy for agricultural and food security under the weather constraints and market conditions of the region.

Key words: Rain-fed agriculture, agricultural diversity, agricultural characterization, conservation practices.

1.1 Introducción

El enfoque en agroecosistemas sustentables (AES), fundamentado en la teoría general de sistemas propuesta por Von Bertalanffy (1968), bajo un enfoque práctico se considera como la unidad básica de estudio y acción para el desarrollo de la agricultura sustentable (Ruiz, 2006), mientras que bajo un enfoque filosófico se considera como un modelo abstracto y un método de investigación que permite interpretar la realidad agrícola (Vilaboa *et al.*, 2009). El AES se considera como un sistema abierto que presenta estructura, componentes, funciones e interrelaciones entre componentes, entradas, salidas, límites y objetivos específicos, por lo que puede y debe estudiarse en diferentes niveles jerárquicos, para la interpretación holística desde una perspectiva interdisciplinaria para establecer soluciones a problemas puntuales (Ruiz, 2006). El AES es la unidad de estudio conformada por un componente biótico definido por la cobertura vegetal y/o animal que interactúa con un componente abiótico (suelo, aire, agua, temperatura, precipitación, entre otros), el cual es manejado por el ente controlador

(productor, familia, empresa) condicionado su funcionamiento a condiciones socioeconómicas y culturales del mismo, cuyo funcionamiento depende de las condiciones socioeconómicas y culturales del mismo, y que está dinámicamente relacionado con el medio externo (Vilaboa, 2009). El hombre, al ser elemento de un ecosistema se relaciona como especie de éste y lo modifica, junto con factores abióticos y bióticos que influyen en dicha relación; pero además, también como individuo ejerce relaciones sociales al desarrollar los procesos productivos que le permiten obtener alimentos que satisfacen sus necesidades. Conceptualmente hablando, Martínez (1999) lo considera como un modelo de conceptos que prioriza el papel del controlador en la toma de decisiones; por otra parte, un enfoque que destaca las relaciones entre organismos copartícipes de la actividad agrícola influenciados por aspectos sociales, económicos, tecnológicos y ecológicos es planteado por Ruiz (2006). Con la finalidad de analizar el AES, Gallardo *et al.* (2002) mencionan que la diversidad de factores que influyen en él, ocasionan problemas en diferentes dimensiones, por lo que es necesario un diagnóstico que permita determinar las prácticas, asociación y factores que intervienen en el mismo.

En México para la planeación del desarrollo rural sustentable, el Fideicomiso de Riesgo compartido (FIRCO, 2005a) estableció el programa de microcuencas, definidas éstas como el área geográfica dentro de una cuenca hidrológica que comparte un escurrimiento de agua específico, con condiciones físico-biológicas similares y una población que comparte costumbres, cultura y valores (Loredo *et al.*, 2007). Como parte de ese programa, en el municipio de Paso de Ovejas en el estado de Veracruz, se delimitaron dos microcuencas: Paso de Ovejas 1 (POV-1) y Paso de Ovejas 2 (POV-2), que pertenecen a la cuenca hidrológica La Antigua (FIRCO, 2005b). La microcuenca POV-1 corresponde a la zona de agricultura de

temporal ubicada en la zona de lomeríos del municipio y la POV-2 comprende a la zona baja del municipio, con acceso a riego agrícola en gran parte de las localidades. En el municipio, el Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable (COMUDERS-P.O.) reportó en 2006 que a nivel municipal existe degradación y contaminación del medio ambiente, erosión de suelos, pérdida y contaminación de mantos freáticos, poca organización y falta de visión empresarial en los productores, así como poca tecnología utilizada en los procesos productivos. Estos factores pueden ocasionar una evolución en los sistemas agrícolas y poner en riesgo su permanencia (Paredes, 2002; Páez *et al.*, 2003).

La microcuenca POV-1 comprende las localidades de Acazónica, Angostillo, Paso Panal, Patancán, Rancho Nuevo y Xocotitla; las actividades agrícolas importantes son la producción de maíz, frijol, carne y leche de bovino, además de manejo del solar familiar y actividades extra finca (jornalero agrícola y empleos de servicios); se han identificado también actividades agrícolas de menor importancia económica como el cultivo de sorgo escobero, diferentes hortalizas y frutales, principalmente (Línea-AES-CP, 2008). Al igual que a nivel municipal, en la microcuenca POV-1 existe una problemática que puede decirse común, pues aunque la Línea AES-CP (2008), destaca para la localidad de Angostillo problemas como: la incidencia de plagas en cultivos y pastos, escasez de agua, baja rentabilidad de los cultivos, nulo manejo de abonos orgánicos, parasitismo en ganado, deficiente manejo del agua, deforestación, mal manejo del fuego y elevado costo de insumos, las demás localidades son semejantes. Dicha situación requiere plantear alternativas de manejo holístico de los AES, para lo cual el primer paso es una descripción profunda de los sistemas de producción.

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación integrador de la Línea Prioritaria de Investigación en Agroecosistemas Sustentables del Colegio de Postgraduados, en su fase de investigación transversal, y tiene como objetivo determinar las características estructurales, funcionales y de conservación de los recursos naturales de los AES de la microcuena POV-1 en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. Para responder a dicho objetivo se formularon dos hipótesis: 1) los AES presentes en la microcuena POV-1 son similares en su estructura y función, por compartir un mismo territorio, y 2) la estructura y manejo de los AES están determinados por la edad y nivel de escolaridad de los responsables o controladores.

1.2 Materiales y métodos

La microcuena POV-1 se encuentra entre los 19°10' N y 96°36' O; 19°13' N y 96°35' O; 19°08' N y 96°29' O; 19°14' N y 96°31' O; se ubica en la parte de lomeríos del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. Tiene una extensión de 7,009 ha (COMUDERS-P.O., 2006) y está conformada por las localidades de Acazónica, Angostillo, Paso Panal, Patancán, Rancho Nuevo y Xocotitla (FIRCO, 2005b). Tiene una población de 2,561 habitantes; el 85 % de la población económicamente activa (PEA) se dedica a las actividades agrícolas (INEGI, 2002). Para determinar el tamaño de muestra (n=65) se utilizó la ecuación planteada por Scheaffer *et al.* (1989) considerando como estratos las localidades (Cuadro 5).

Cuadro 5. Población y tamaño de muestra en las localidades de la microcuena Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Localidad	Acazónica	Angostillo	Paso Panal	Patancán	Rancho Nuevo	Xocotitla	TOTAL
Población	300	90	40	49	45	90	614
Muestra	29	8	5	7	6	10	65

Se utilizó la técnica de la encuesta y se desarrolló y utilizó un cuestionario estructurado como instrumento para obtener la información sobre el manejo de los AES. El cuestionario constó de cinco apartados: 1) componentes que integran el AES, 2) prácticas de manejo de los diferentes componentes del sistema, 3) interacción entre los componentes del sistema, 4) fuente de la mano de obra empleada, y 5) prácticas de conservación de recursos naturales (agua, suelo y monte) empleadas por los controladores (productor o familia). La información se recopiló de enero a junio de 2009, y se concentró en una base de datos. Para interpretar los datos se utilizó un análisis multivariado de conglomerado jerárquico y ligamiento completo. Las variables cualitativas se transformaron a cuantitativas mediante su frecuencia de aparición, se contabilizó el número de actividades realizadas en cada rubro evaluado (conservación de agua, suelo, manejo de cultivos, manejo del ganado y reciclaje de productos/subproductos dentro del AES); (Cuadro 6). Para el análisis de los datos se usó el programa estadístico STATISTICA v-6, y se usó la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de medias.

Cuadro 6. Estructura del instrumento para la caracterización de los agroecosistemas (AES) de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Apartado	VARIABLES CUANTITATIVAS	Unidad
Componentes del agroecosistema	Especies de ganado del AES	Cabezas
	Cultivos manejados en el AES	Número de cultivos diferentes
	Disponibilidad de tierras	Hectáreas
	Uso del suelo agrícola	Hectáreas de cultivo, ganado y monte
Manejo de los componentes	Prácticas de manejo ganadero	Cantidad y tipo
	Prácticas de manejo de los cultivos	Cantidad y tipo
	Prácticas de conservación de forraje	Cantidad y tipo

Cuadro 6, continuación.

Integración entre componentes	Uso de esquilmos agrícolas para alimentación animal	Si, no
	Uso de excretas animales como abono de cultivos	Si, no
Fuente de mano de obra	Mano de obra empleada en el agroecosistema proveniente de la familia	Si, no
	Mano de obra empleada en el agroecosistema contratada	Si, no
Conservación de los recursos naturales	Prácticas de conservación de agua	Cantidad y tipo
	Prácticas de conservación de suelo	Cantidad y tipo

1.3 Resultados y Discusión

Las actividades agrícolas o componentes presentes en los 64 AES evaluados en la microcuenca POV-1, se describen en la Figura 3, en donde se observa que los componentes más importantes son maíz, bovinos y monte; los de menor importancia son ovinos, forestería y tamarindo, además de agave, limón, plátano y calabaza con una mención cada uno, observándose un reporte para cada uno de ellos, mismos que se integraron en la Figura 3 en el apartado de otros.

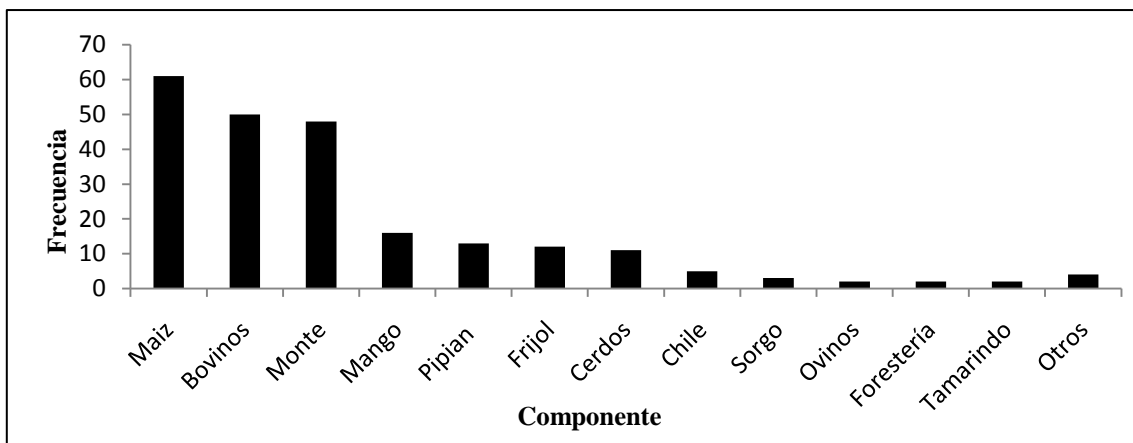


Figura 3. Componentes presentes en 64 agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Mediante el análisis de conglomerados se identificaron tres grupos de AES (Figura 4): G1) AES con tendencia a la ganadería, mayor disponibilidad de tierras agrícolas y más prácticas agrícolas, en este grupo todos los productores tienen ganado y más de un cultivo; G2) AES con tendencia al cultivo, menor disponibilidad de tierras y prácticas agrícolas, en este grupo el 44 % de los productores no tienen ganado bovino y se dedica exclusivamente al manejo de cultivos; y G3) AES con tendencia a la ganadería, con disponibilidad intermedia de tierras y prácticas agrícolas, el 70 % de los productores de este grupo combina la ganadería bovina con el cultivo de maíz y el 30 % restante siembra al menos otro cultivo además de maíz. El número de productores que pertenece a G1, G2 y G3 es de 15, 27 y 23, que corresponden al 23, 42 y 35 %, respectivamente, de los AES analizados. Un agroecosistema quedó fuera de los grupos y se consideró un caso aislado atípico, dado que cuenta con una extensión superior a las 200 hectáreas y más de 70 cabezas de ganado bovino.

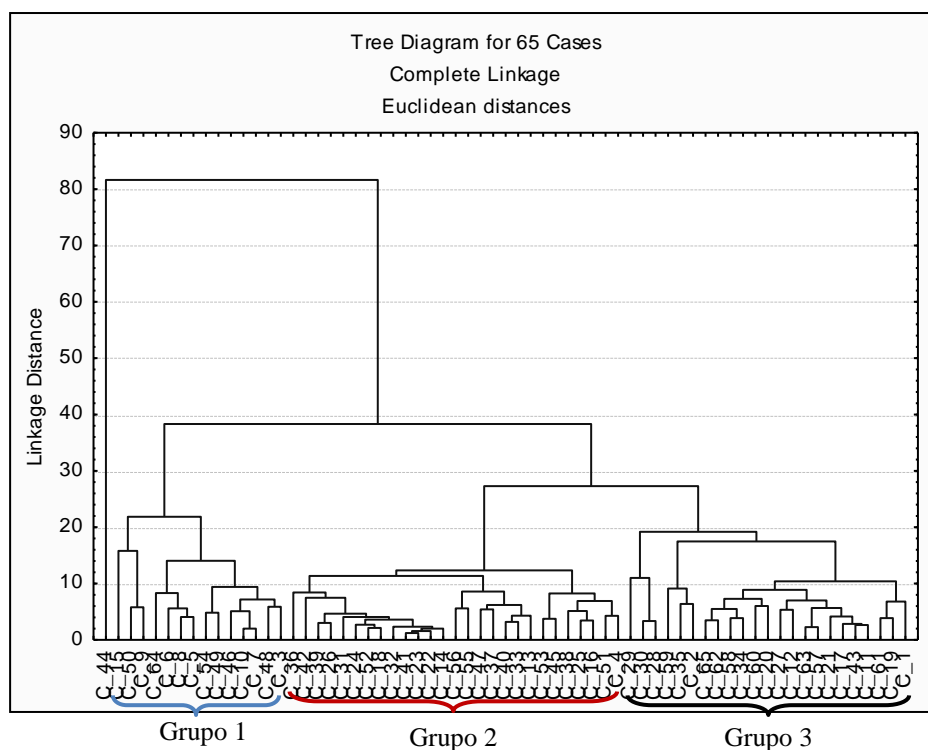


Figura 4. Tipos de agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. (G1= tendencia a ganadería, mayor disponibilidad de tierras agrícolas y número intermedio de prácticas de conservación de recursos naturales, G2= tendencia al cultivo, menor disponibilidad de tierras y menor número de prácticas de conservación de recursos naturales y G3= tendencia a ganadería, número intermedio de tierras y mayor número de prácticas de conservación de recursos naturales).

La edad promedio de los controladores de los tres AES (58 ± 10 , 53 ± 14 y 58 ± 13 años en G1, G2 y G3, respectivamente) no fue diferente ($P > 0.05$); de los 64 productores entrevistados solo ocho tienen menos de 40 años de edad, lo que corresponde al 12.3 % de los entrevistados, y muestra que la continuidad de la agricultura en la microcuenca POV-1 se encuentra en riesgo, dado que las generaciones más jóvenes (menos de 30 años), se involucran poco en dichas actividades y emigran a trabajar fuera del municipio, estado e incluso el país. Además, 35.3 % del total de los controladores de los AES se encuentra en un rango de 60 a 70 años y el 12 % restante tiene más de 70 años de edad, lo que incrementa el riesgo de la pérdida de la continuidad de los sistemas a corto plazo, si se considera que la esperanza de vida en México es de 75 años (INEGI, 2010). Sin embargo, se ha reportado que la edad no es un factor que

influye de manera directa por sí misma sobre la adopción e innovación tecnológica por productores ejidales en el estado de Veracruz (Hernández *et al.*, 2008), aunque el desarrollo de las agrupaciones de productores agrícolas es afectado por la edad de la agrupación (Barreto *et al.*, 2003), lo cual no es limitante para adoptar acciones para modificar los agroecosistemas y mejorar su sustentabilidad, en las que debe priorizarse la inclusión de las generaciones jóvenes.

Se encontró una correlación positiva de la edad del productor con respecto al número de componentes que integran en el manejo de los AES, mientras que la escolaridad no mostró correlación (Figura 5), siendo los productores con edad media y escolaridad media, según los parámetros de la microcuenca (50 a 70 años de edad y 4 a 6 años de escolaridad), quienes integran un mayor número de componentes en el AES.

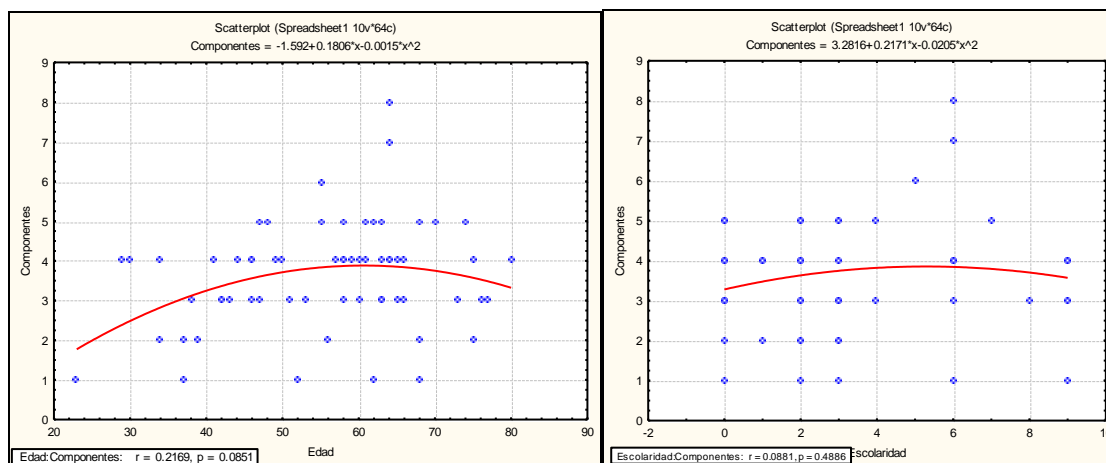


Figura 5. Efecto de la edad y escolaridad del responsable sobre el número de componentes del Agroecosistema. (Donde: a) Correlación entre edad y número de componentes y b) correlación entre escolaridad y número de componentes).

La agricultura representa la principal fuente de ingresos para el 93, 76 y 87.5 % de las familias de G1, G2 y G3, respectivamente; seguida de trabajo extra finca como jornalero (7, 12 y 4 %,

respectivamente). Ningún AES se encuentra constituido únicamente por un único cultivo o especie de ganado. La diferenciación entre G1, G2 y G3 se debe al tipo y número de cultivos que emplean, tamaño del hato, número de prácticas de conservación de los recursos naturales y disponibilidad de tierras, dado que en la región la diversidad agrícola representa una estrategia para satisfacer sus necesidades básicas de alimentación y para participar en el mercado con parte de su producción (Gallardo *et al.*, 2002), porque depender únicamente de una actividad incrementa el riesgo de pérdidas por efecto de condiciones climáticas desfavorables, plagas, enfermedades y comportamiento de mercado.

La superficie de tierra promedio disponible en los AES es de 31, 7 y 14 ha para G1, G2 y G3, respectivamente. En los AES de G1 y G3 existe mayor uso ganadero del suelo agrícola, mientras que en el G2 se dedican principalmente al manejo de cultivos anuales. El G3 es el que diversificó más el AES, dado que tiene uso de cultivos, ganadero, monte y forestal, este último de reciente introducción, a pesar de que los del G1 cuentan con la mayor superficie disponible (Cuadro 7). Estos datos concuerdan con lo reportado por Posee (1984), quien menciona que los AES con menor disponibilidad de tierra en el centro del estado de Veracruz son los que presentan una mayor diversidad de prácticas agrícolas, en comparación con los que tienen mayor acceso a este recurso, que son más especializados.

Cuadro 7. Disponibilidad de tierras y uso del suelo en los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Tipo de uso	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Cultivos	6.4±2.41 ^a	3.2±2.41 ^b	3.4±1.75 ^b
Ganadería	20.6±6.91 ^a	2.6±2.58 ^c	8.6±3.62 ^b
Forestería	-	-	0.2±0.72
Monte	4.3±3.4 ^a	1.6±1 ^b	1.8±1.55 ^b

^{a,b,c} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (P<0.05).

El número de elementos agrícolas que integran a los tres grupos de AES encontrados en la microcuenca POV-1 es similar, pero el tipo de elementos es diferente (Cuadro 8); es decir, existen elementos que solo son utilizados en algunos AES. En G1, G2 y G3 los principales componentes son: ganadería de doble propósito y producción de maíz; este último mostró una importante interacción con la cría de ganado, dado que el rastrojo constituye la principal fuente de forraje en la época de estiaje, incluso se vuelve una entrada extra de recursos económicos para los productores sin ganado bovino mediante su venta para uso forrajero (con un valor de hasta \$1,500.00 MN por hectárea). El componente ovino está presente en G2 y G3, pero la producción de agave y calabaza sólo se realiza en G1, siendo el cultivo de agave de reciente introducción en la zona (seis años). La producción de ovinos es una práctica más aceptada por los productores con la menor disponibilidad de tierras, debido a que de esta especie ganadera se obtienen productos a corto plazo, a diferencia del cultivo de agave, cuya cosecha se hace a los ocho años posteriores a su siembra, periodo en el cual resulta difícil el pastoreo de ganado en la parcela, por tanto fue preferido por productores con mayor acceso a la tierra. Por otro lado, la siembra de especies forestales es empleada por los productores de

mediana disponibilidad a tierras, dado que las restricciones para pastoreo de ganado bovino bajo este tipo de manejo no es tan fuerte en comparación con el cultivo de agave.

Cuadro 8. Estructura de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Componente	G 1	G 2	G 3
Bovinos *	10.8 ±4.3 ^a	2.3±2.0 ^b	10.5±4.6 ^a
Ovinos *	-	1.2 ±0.2	1.8±1.4
Cerdos*	0.6 ±0.2 ^{ab}	0.6 ±0.1 ^b	1.2±0.7 ^a
Maíz **	5.0 ±1.7 ^a	2.5 ±1.7 ^b	2.8±1.5 ^{ab}
Frijol**	0.2±0.07	0.3±0.2	0.2±0.07
Pipián**	1.3±0.6	0.4±0.2	0.4±0.1
Chile**	0.4±0.2	0.2±0.03	0.1±0.02
Sorgo para escoba **	-	0.1±0.03	0.1±0.02
Tamarindo**	0.5±0.4	0.2±0.4	0.5±0.2
Agave**	0.4±0.1	-	-
Calabaza**	0.3±0.07	-	-
Pastizales**	20.6±6.9 ^a	2.6±2.5 ^c	8.6±3.6 ^b
Monte o acahual**	4.3±3.4 ^a	1.6 ±1.1 ^b	1.8±1.5 ^b
Cedro**	-	-	0.7±0.2
Total de componentes	11	11	12

* Cabezas de ganado, ** hectáreas.

^{a, b} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (P<0.05).

En los tres grupos de AES se identificaron prácticas de conservación de recursos naturales (agua, suelo y monte); la mayoría de ellas son el resultado de la experiencia de los productores

a través del tiempo y cuyo uso se ha transmitido de generación en generación, por lo que tienen un alto grado de rusticidad, entre las que destacaron el uso de arado de tracción animal, siembra de árboles en la periferia de las parcelas, intercalado de cultivos y el abandono de cultivos como tomate, papaya y chile, principalmente; sin embargo, es importante considerar que algunas prácticas se han dejado de realizar en los AES con el paso del tiempo y con la sucesión de las tierras entre familiares, situación que se presentó en los tres grupos encontrados.

Las prácticas empleadas en el periodo del estudio para la conservación de suelo fueron la conservación de árboles en la periferia de las parcelas (que se sembraron hace más de 10 años) y la formación de barricadas con piedras y siembra de pasto; para la conservación de agua las más empleadas fueron la construcción de represas, ollas¹ y conservación del monte en las orillas de los ríos o arroyos que pasan por las propiedades agrícolas. Estas prácticas las realizaban en promedio el 66, 59 y 54 % de G1, G2 y G3, respectivamente, con promedios de 1.1, 1.3 y 1.6, prácticas por productor; en los tres grupos ningún productor realizó más de dos prácticas ya sea para conservar agua, suelo o ambas (Cuadro 9). No hubo diferencia estadística ($P > 0.05$) en el número de prácticas realizadas en los grupos.

Cuadro 9. Prácticas de conservación de los recursos naturales y de manejo de los componentes en los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz

Práctica	G1	G 2	G3
Conservación de suelo y agua	1.2±0.1	1.3±0.4	1.6±0.3
Ganaderas	2.6±1.4	1.5±1.0	3.4±0.9
Cultivos	3.2±0.6	3.0±1.4	2.9±0.9

¹ Cavidades realizadas con maquinaria en el suelo para almacenar agua captada en la época de lluvias.

La finalidad zootécnica en los tres grupos de AES es la cría de ganado bovino de doble propósito, con número de vacas en ordeña que osciló de 2 a 15; sólo el 30 % en G3 cuenta con ordeña durante todo el año mientras que en G1 y G2 la ordeña es ocasional. Los pastos más empleados en los tres grupos de AES son el privilegio (*Panicum maximum*), jaragua (*Hyparrhenia rufa*) y pangola (*Digitaria decumbens*). En el G1 el 80 % de los productores tiene praderas establecidas con pasto privilegio y el 20 % con jaragua; en G2 los pastos usados son privilegio, jaragua y pangola con 64, 24 y 12 %, de los productores, respectivamente; mientras que el G3 mostró mayor variedad de pastos utilizados, que en orden de importancia fueron privilegio, jaragua, insurgente (*Brachiaria brizantha*), gramas nativas del género *Paspalum* y *Axonopus*, pangola y llanero (*Andropogon gayanus*), con 60, 16, 8, 8, 4 y 4%, respectivamente. Se observó un manejo nulo de las praderas y pastizales, al menos en los últimos 15 años ningún productor ha realizado una fertilización sintética u orgánica, la única fuente de fertilización en pastizales y praderas ha sido la deposición de excretas por parte de los bovinos al momento del pastoreo; la práctica que todos los productores dijeron realizar en las praderas fue el control de maleza de manera manual o química y la quema ocasional de material seco antes de la época de lluvias.

El G1 presentó la mayor cantidad de ganado bovino y la menor diversificación de especies pecuarias en comparación con G2 y G3 (Cuadro 8). En el G1, se maneja una carga animal (U.A = 450 kgPVha⁻¹) de 0.4, mientras que G2 y G3 manejan 0.7 y 1.1 U.A por hectárea, lo que indica estados de sobrepastoreo y subpastoreo que pueden propiciar la desaparición de los pastos en un mediano plazo (Connell *et al.*, 2007). Bajo las condiciones climáticas de la región resulta difícil fijar una carga animal adecuada, porque intervienen diferentes factores

como tipo de pasto, tipo de suelo, manejo, y el más importante, la disponibilidad y distribución de las lluvias en el año. Por otro lado, la estacionalidad en la producción de forraje, prácticamente en cuatro meses del año (julio-octubre), obliga a los productores a tomar medidas alternativas como el uso de maíz, alimento comercial, pacas de forraje henificado y renta de tierras agrícolas con rastrojos de maíz. En los tres grupos, se encontró que la desparasitación (externa e interna) se realiza al menos una vez al año, y que constituye la práctica zoonitaria más empleada.

En general, las prácticas de manejo del componente ganadero en los tres grupos fueron mínimas (Cuadro 10), lo que coincide con lo reportado por Páez *et al.* (2003) para los sistemas ganaderos del trópico latinoamericano, y Vilaboa *et al.* (2009) para la región del Papaloapan, en Veracruz, México. Así, en el presente estudio también se encontró que al incluir múltiples componentes y no tener una única finalidad productiva, el nivel tecnológico es bajo, pues la producción no está totalmente enfocada hacia uno o dos productos sino que se diversifica, lo que permite que el controlador del AES (familia o productor) genere ingresos económicos durante todo el año para solventar sus necesidades, lo que se ha caracterizado como una estrategia de los pequeños productores para asegurar su subsistencia (Gallardo *et al.*, 2002; Altieri, 2009).

Cuadro 10. Porcentaje (%) de prácticas zootécnicas desarrolladas en la microcuenca Paso de Ovejas 1, del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz

Práctica	G1	G2	G3
Desparasitación (ecto y endoparásitos)	86	60	95
Aplicación de vitaminas (ADE)	55	40	75
Suplementación alimenticia	60	27	76
Ordeña	33	33	70

Las prácticas más comunes que se realizan en el manejo de los cultivos fueron la aplicación de herbicidas (100, 88 y 95 %), aplicación de insecticidas (93, 85 y 91 %) y uso de fertilizantes sintéticos (100, 85 y 74 %) en G1, G2 y G3, respectivamente. En G2, que es el grupo con tendencia al manejo de cultivos, 33 % de los productores manifestó realizar rotación de cultivos, en comparación con 20 y 16 % en G1 y G3, que presentaron tendencia a la ganadería. La rotación de cultivos consiste en rotar principalmente cultivo de maíz-frijol-chile, aunque no es constante y está más influenciada por factores externos como clima, mercado o costos de producción, que por un plan establecido de antemano por el manejador. La siembra de cultivos intercalados fue una práctica que se realizó con menor frecuencia, pues sólo la emplea el 6 y 11 % de G1 y G2, y es principalmente de maíz-frijol, maíz-pipían o maíz-sorgo para escoba. Ningún productor en los tres grupos encontrados (G1, G2 y G3) reportó aplicar algún otro tipo de abono orgánico, solo las heces del ganado que entra a las parcelas a cosechar el rastrojo de maíz en la época seca. Al respecto El-Hage y Hattam (2003) mencionan que las prácticas agrícolas utilizadas en los sistemas tradicionales son heredadas transgeneracionalmente como una adaptación a las condiciones culturales locales y del mercado.

1.4 Conclusiones

Pese a que la microcuenca POV-1 posee una extensión limitada de tierras y características ambientales y sociales similares, se observaron tres grupos de agroecosistemas diferentes en cuanto a estructura y funcionamiento, lo que responde a la disponibilidad de tierras y a la cantidad y fuente de ingresos económicos al sistema. La edad y escolaridad de los productores tiene una relación directa sobre la racionalidad de manejo y conformación de los agroecosistemas en esta microcuenca. En los tres grupos de agroecosistemas se realizan prácticas mínimas de conservación de recursos naturales (agua, suelo y monte), y la mayoría de ellas son el resultado de la experiencia de los productores a través del tiempo, las cuales son transmitidas de generación en generación y tienen un alto nivel de rusticidad. Sin embargo, se han dejado de realizar algunas prácticas que se desarrollaban anteriormente, específicamente las relacionadas con el manejo de cultivos y protección de los recursos naturales, aunque tampoco se han implementado innovaciones tecnológicas recientemente.

1.5 Literatura citada

- Altieri, M. A. y C. I. Nicholls. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA Revista de Agroecología Marzo 5-8
- Barreto, E. Trino., Florido, J., Hidalgo, C., Mengo, O. y W. Jaffé. 2003. Consorcios de innovación tecnológica agrícola en Venezuela: Características y factores de éxito. Espacios 2:(3). <http://www.revistaespacios.com/a03v24n03/03240321.html>. 10 Febrero 2008.
- COMUDERS. 2006. Diagnóstico municipal de Paso de Ovejas. Consejo Municipal de Desarrollo Sustentable de Paso de Ovejas Veracruz. 91 p.

- Connell, J., Navarro, L., Torrealba, M., Rodríguez, I., Guevara, E., Ramírez, M., Alfaro, C. y H. Tirado. 2007. Caracterización técnica-productiva de los sistemas ganaderos del sur del estado Anzoátegui. Manejo del recurso pastizal. *Zootecnia Tropical*, 25(3):201-204.
- El-Hage, S. y C. Hattam. 2003. Agricultura orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. FAO. Servicio del medio ambiente y los recursos naturales. Departamento de desarrollo sostenible. Roma, Italia. 208 p.
- FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido). 2005a. Guía técnica para la elaboración de planes rectores de producción y conservación (PRPC). SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 163 p.
- FIRCO. 2005b. Plan rector de producción y conservación Paso de Ovejas 1. 95 p.
- Gallardo, L. F., Riestra, D. D., Aluja, S. A y D. J. P. Martínez. 2002. Factores que determinan la diversidad agrícola y los propósitos de producción en los agroecosistemas del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Agrociencia*, 36(004):495-502.
- Hernández, C. E., Martínez, D. J. P., Gallardo, L. F. y J. J. A. Villanueva. 2008. Aceptación de una nueva tecnología por productores ejidales para el manejo integrado del cultivo de papayo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 8(3): 279-288
- INEGI. Instituto Nacional de estadística, Geografía e Informática. Censo de población y vivienda 2002. <http://cuentame.inegi.gob.mx>
- INEGI. <http://cuentame.inegi.gob.mx/impresion/poblacion/esperanza.asp>. 22 Enero 2010.
- Línea AES-CP. 2008. Línea Prioritaria de Investigación en Agroecosistemas Sustentables. Diagnóstico transdisciplinario en los municipios de Cárdenas, Tabasco y Paso de Ovejas, Veracruz. Documento Ejecutivo. Colegio de Postgraduados. 53 p.
- Loredo, O, C., Beltrán, L. S., Moreno, S. F. y D. M. Casiano. 2007. Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas del estado de San Luis Potosí. Libro Técnico No. 3. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S. L. P. México. 209 p.

- Martínez, D. J. P. 1999. Modelo conceptual de agroecosistema para el desarrollo agrícola sustentable basado en el hombre. IV Reunión Nacional sobre Agricultura Sustentable. Jalisco, México. pp 8-14.
- Páez, L., Linares, T., Sayago, W. y R. Pacheco. 2003. Caracterización estructural y funcional de fincas ganaderas de doble propósito en el municipio Páez del estado Apure, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 21(3):301-320.
- Paredes, L. 2002. Evolución de la producción lechera en Venezuela. Fundación INLACA. *Boletín Técnico Agropecuario*, 8(15):8-15.
- Ruiz, R. O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. En: *Agroecología y agricultura orgánica en el trópico*. (Editores: López, B. O., Ramírez, G. S. I., Ramírez, G. M., Moreno, B. G. y Alvarado, G. A. E.). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Universidad Autónoma de Chiapas. ISBN: 958-60-110-2. pp. 27-35.
- Scheaffer, R. L., Mendenhall, W. y L. Ott. 1989. *Elementos de Muestreo*. Grupo Editorial Iberoamericana, México, D.F. 321 p.
- Statistica V6. 2002. StatSoft, Inc. Computer program manual. Tulsa, OK:StatSoft, Inc.,2300 East 14th Street, Tulsa, OK. <http://www.statsoft.com>. 23 Febrero 2010
- Vilaboa, J. 2009. Diagnósis del esquema de comercialización no integrado de bovinos destinados para el abasto de carne en la región del Papaloapan, Veracruz. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. pp. 32-34.
- Vilaboa, A. J., Díaz, R. P., Ruíz, R. O., Platas, R. D., González, M. S., y L. F. Juárez. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con ganado bovino de doble propósito en la región del Papaloapan, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10(1):53-62.
- Von Bertalanffy, K. L. 1968. *General systems theory: foundations, development, applications*. New York. George Braziller.

CAPÍTULO II. SUSTENTABILIDAD Y MODELAJE PARTICIPATIVO DE LOS AGROECOSISTEMAS DE LA MICROCUENCA PASO DE OVEJAS 1

Resumen

Se desarrolló un índice agregado para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas (AES) de la microcuenca Paso de Ovejas 1 (POV-1), que corresponden a agricultura de temporal en lomerío. El índice se integró por cuatro dimensiones: ambiental, económica, social y humana. Se evaluaron 56 AES pertenecientes a seis localidades, y se distribuyeron en tres grupos diferentes: G1) tendencia a ganadería y alta disponibilidad de tierras, G2) tendencia a cultivos, y G3) tendencia a ganadería y baja disponibilidad de tierras. De cada grupo se seleccionó un AES al azar (Agroecosistema Tipo), al cual se dio seguimiento en campo y se representó en un modelo de simulación con el programa Vensim® PLE. Se plantearon tres escenarios diferentes para cada AES tipo, con la participación de los productores. Se utilizó la prueba de Tukey (0.05) para determinar diferencias entre grupos y entre localidades. Los resultados muestran un bajo grado de sustentabilidad (0.52) en los AES de la microcuenca POV-1. Se encontró diferencia estadística ($P < 0.05$) entre los grupos, donde G1 fue superior (0.58) en comparación con G2 y G3 (0.48 y 0.53, respectivamente). La dimensión menos desarrollada fue la social y además limita el desarrollo de las dimensiones económica, ambiental y humana, sus indicadores críticos son la organización entre productores y acceso a asistencia técnica. La dimensión humana presentó los valores más altos, y se debe al fuerte carácter cultural y tradicionalista de la agricultura, y al hecho de satisfacer necesidades de la familia con el ingreso de divisas, sueldos extrafinca y apoyos gubernamentales de asistencia social; sin embargo, es crítico el deseo de continuar en la agricultura por parte de los herederos. Con base en la simulación de escenarios, se observó un fuerte efecto del manejo presente del

agroecosistema sobre el comportamiento futuro de su sustentabilidad y que existen posibilidades de mejorar dicha sustentabilidad, con la integración del conocimiento técnico-científico y el conocimiento local, bajo un esquema organizado de trabajo conjunto. El uso de un índice local agregado de sustentabilidad con posibilidades de analizar por separado sus dimensiones e indicadores y modelar los AES, permite identificar los puntos críticos, planificar y evaluar intervenciones antes de implementarlas.

Palabras clave: índice agregado, sustentabilidad local, modelación participativa, escenarios

SUSTAINABILITY AND PARTICIPATORY MODELING OF THE PASO DE OVEJAS 1 MICRO-WATERSHED AGROECOSYSTEMS

Abstract

An aggregation index was developed to evaluate the sustainability of the Paso de Ovejas 1 micro-watershed (POV-1) agroecosystems (AES) in Veracruz, Mexico, which belong to low-hill rain-fed agriculture. The index was integrated by four dimensions: environmental, economic, social and human. Fifty-six AES belonging to six communities were evaluated and distributed in three different groups: G1) tendency to cattle with high land availability; G2) tendency to crops and low land availability; and G3) tendency to cattle with low land availability. Of each group one AES was randomly selected (type AES), which was evaluated in the field and was represented in a simulation model with the Vensim® PLE program. Three different scenarios were established for each type AES, with the participation of the producers. The Tukey test (0.05) was used to determine differences among groups and communities. The results show a low sustainability degree (0.52) in the AES from the POV-1. Statistical difference ($P < 0.05$) was found among groups, where G1 was higher (0.58)

compared to G2 and G3 (0.48 and 0.53, respectively). The least developed dimension was the social dimension, and that limited the development of the economic, environmental and human dimensions; its critical indicators are organization among producers and access to technical assistance. The human dimension showed the highest values due to the cultural and traditional character of agriculture and because it satisfies family needs by the income of money from family members working abroad, from out of the farm labor, and from social assistance government grants; however, it is critical that heirs have the desire to continue with agricultural activities. With of scenario simulation base, a strong effect of the current management of the AES on the future behavior of its sustainability was observed, as well as the possibilities to improve that sustainability, with the integration of the technical-scientific knowledge and the local knowledge, under an organized scheme of collective work. The use of a local sustainability aggregation index with possibilities to separately analyze its dimensions and indicators and to model the AES, allows identifying the critical points, to plan and evaluate the interventions before their implementation.

Key words: aggregation index, local sustainability, participatory modeling, agricultural scenarios

2.1 Introducción

El desarrollo sustentable se presenta actualmente como uno de los temas de mayor importancia en las agendas políticas globales y programas de diferentes centros de investigación (Bartlett, 2006; Teissier, 2007). En términos generales, se ha propuesto que las metas finales de la sustentabilidad son la autonomía, oportunidades, seguridad y salud de los

individuos (McMichael *et al.*, 2008), con todas las implicaciones que ellas conllevan y que corresponde a los aspectos ambientales, sociales, económicos y políticos. Dentro de la noción global de desarrollo sustentable, la agricultura es concebida como una de las actividades más importantes a atender, por su inminente influencia en el desarrollo humano, social y económico por un lado, y la calidad de los recursos naturales por el otro; en el caso de México se reporta que en las localidades rurales con menos de 2,500 habitantes, el 60% presenta un nivel de alta y muy alta marginalidad (CONEVAL, 2007), y como país ocupa el lugar número 40 de 45, en el subíndice manejo sustentable del medio ambiente (IMCO, 2007). Por su parte, Vant *et al.* (2006) mencionan que la agricultura moderna puede considerarse como altamente productiva, pero sus efectos negativos en el medio ambiente se han incrementado visiblemente. Así, en las últimas tres décadas diferentes investigadores se han dado a la tarea de construir conceptos de sustentabilidad agrícola, desarrollar teorías, métodos e instrumentos para evaluarla. Para evaluar la sustentabilidad agrícola se ha planteado la necesidad de un enfoque interdisciplinario (Maserá *et al.*, 1999), también una visión agroecológica que resalte la interacción entre los elementos del agroecosistema y con elementos externos a él (Ruiz, 2001). Por su parte, Cáceres (2006) plantea el concepto de sustentabilidad situada, refiriéndose a la necesidad de establecer parámetros contextuales en la definición de sustentabilidad, y coincide con Nahed *et al.* (2006) sobre la importancia de analizar integralmente la sustentabilidad, expresada en un índice agregado, que además permita evaluar individualmente a cada una de las dimensiones consideradas, así como a los indicadores particulares que las conforman, con la finalidad de detectar puntos clave para diseñar o rediseñar estrategias de intervención en los sistemas de producción (Candelaria *et*

al., 2010a), dado que en alguno de ellos pueden estarse desarrollando procesos que comprometan la sustentabilidad a mediano o largo plazo (Cáceres, 2009).

El uso de modelos de simulación en agricultura y con la finalidad de entender y hacer operativo el concepto de sustentabilidad, ha permitido una mejor comprensión del funcionamiento de los agroecosistemas. Sin embargo, aunque los modelos han sido de utilidad para quienes los elaboran, pocas veces han servido a los productores o tomadores de decisiones, especialmente porque no se han considerado en el planteamiento y construcción de los modelos (Gormley y Sinclair, 2003). En este sentido, los mismos autores proponen considerar a los productores en el desarrollo de los modelos, mediante el aporte de información para su construcción, así como en la simulación de escenarios.

En cuanto a las áreas geográficas de intervención para el desarrollo de la agricultura sustentable, en México, el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO, 2005a), bajo el enfoque de territorialidad, ha propuesto la microcuenca como el espacio de atención integral. Así, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, existen dos microcuencas (FIRCO, 2005b), Paso de Ovejas 1 (POV-1) y Paso de Ovejas 2 (POV-2). La primera microcuenca se localiza en la parte de lomeríos del municipio, presenta una agricultura campesina de subsistencia y se han reportado tres grupos diferentes de agroecosistemas (AES); G1: con tendencia a la ganadería, alta disponibilidad de tierras agrícolas ($\mu=31$ ha) y realiza un número intermedio de prácticas agrícolas ($\mu=7$); G2: con tendencia al manejo de cultivos, baja disponibilidad de tierras ($\mu=7$ ha) y realiza la menor cantidad de prácticas agrícolas ($\mu= 4.8$); y G3: con tendencia a la ganadería, disponibilidad intermedia de tierras ($\mu=14$ ha) y mayor cantidad de

prácticas agrícolas ($\mu=7.9$) (Candelaria *et al.*, 2010b). Es importante mencionar que el CONAPO (2005; Consejo Nacional de Población) ha clasificado a cuatro de las seis localidades de la microcuenca como de alto grado de marginalidad (Acazónica, Paso Panal, Patancán y Rancho Nuevo), y a las dos restantes (Angostillo y Xocotitla) como de media marginalidad. Por su parte, la segunda microcuenca se localiza en la parte baja del municipio, en donde algunas de sus localidades tienen acceso al canal de riego del módulo III-1 Puente Nacional, del Distrito de Riego 035 La Antigua (CNA, 2010); cuenta con una agricultura semiempresarial en donde destaca el cultivo de caña de azúcar, frutales y la actividad ganadera de doble propósito (COMUDERS-PO, 2006).

Con base en anterior, se plantearon como objetivos el desarrollar un índice agregado de sustentabilidad para los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, evaluar el grado de sustentabilidad de los tres grupos de agroecosistemas y desarrollar un modelo de simulación de sustentabilidad con la participación de los productores, en el cual se empleen los componentes del índice agregado, para determinar escenarios de sustentabilidad.

2.2 Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en la microcuenca POV-1, que se encuentra entre los 19°10' N y 96°36' O; 19°13' N y 96°35' O; 19°08' N y 96°29' O; 19°14' N y 96°31' O, cuenta con una extensión de 7,009 ha y está conformada por las localidades de Acazónica, Angostillo, Paso Panal, Patancán, Rancho Nuevo y Xocotitla (FIRCO, 2005b). Alberga una población de 2,561 habitantes y el 85% de la población económicamente activa (PEA) se dedica a las actividades agrícolas (INEGI, 2002).

Se aplicó el método BAESA (Bases Agroecológicas para la Evaluación de Sustentabilidad Agrícola) propuesto por Candelaria *et al.* (2010c) para la evaluar la sustentabilidad de los AES de la microcuenca POV-1, considerando las condiciones locales (contexto) y la selección de indicadores de acuerdo al nivel jerárquico de evaluación. Dicho método retoma aspectos de los métodos propuestos por Masera *et al.* (1999), Ruiz (2001), Nahed *et al.* (2006) y Cáceres (2006). El BAESA consta de 11 etapas (Figura 6), en la etapa 1 y 2 se refieren a la identificación del problema y desarrollo del marco teórico, de la etapa 3 a 6 se enfoca al conocimiento del área de estudio; en las etapas 7 y 8 se evalúa la sustentabilidad y se definen los valores umbrales para los indicadores, en la etapa 9 se seleccionan los agroecosistemas tipo representativos de cada grupo diferente, en los cuales se realizan evaluaciones específicas de campo y se usan de referencia en el modelo de simulación participativa de la sustentabilidad, en la etapa 10 se elabora el modelo de simulación y se realiza el rediseño participativo y en la etapa 11 se implementa el rediseño en los agroecosistemas reales, para iniciar de nuevo un proceso de evaluación de la sustentabilidad periódico, a fin de detectar avances o retrocesos en la sustentabilidad e implementar los ajustes necesarios. El presente trabajo se desarrolló hasta la etapa de construcción del modelo de simulación.

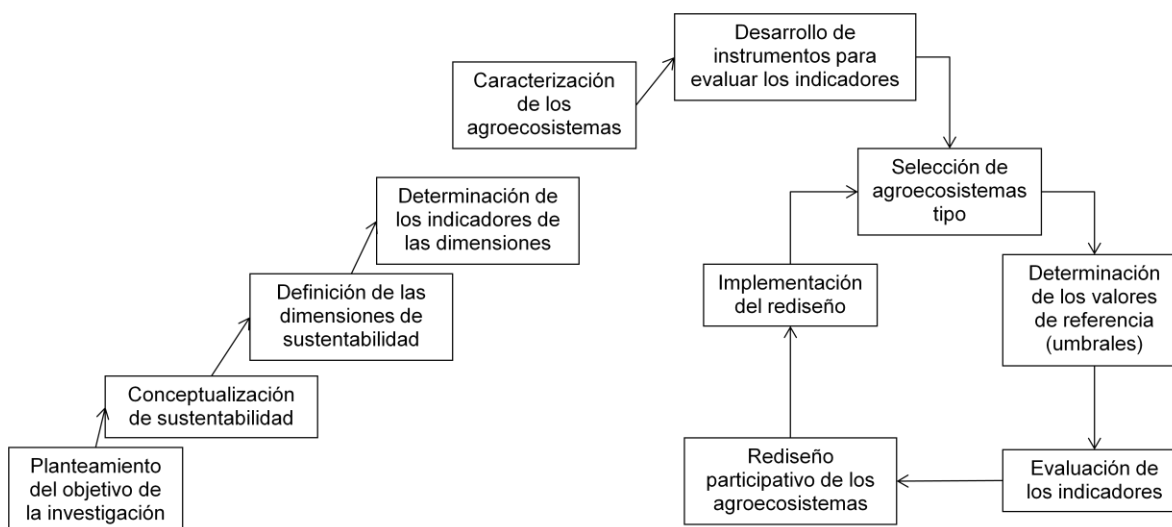


Figura 6. Esquema metodológico de BAESA (Candelaria *et al.*, 2010c)

Para el presente estudio se definió la sustentabilidad agrícola como el proceso que integra la obtención de alimentos, fibras y demás productos agropecuarios, que satisfagan necesidades de la población, mediante un conjunto de prácticas agrarias legales, las cuales además durante el proceso productivo logren conservar y mejorar la cantidad y calidad de los recursos naturales, para asegurar su permanencia y mejorar el desempeño de los agroecosistemas en el tiempo. Además, estas prácticas son el medio de desarrollo económico, humano y social de las familias que las adquieren.

Las dimensiones de sustentabilidad acordes al nivel jerárquico estudiado se definieron mediante una consulta con expertos que conocen el área de estudio y expertos que no conocen el área, pero que tienen experiencia en evaluación de sustentabilidad; se definieron cuatro dimensiones: ambiental, económica, social y humana, para las cuales se consideraron nueve, siete, cinco y ocho indicadores, respectivamente, los cuales se agregaron y ponderaron para integrar las dimensiones. Se entrevistó a 59 de los 65 responsables de los AES que se habían

considerado anteriormente para hacer la caracterización por Candelaria *et al.* (2010b), con auxilio de un cuestionario semiestructurado, y un total de 36 preguntas sobre las cuatro dimensiones consideradas; los seis productores restantes no mostraron interés en participar en esta etapa, por lo que no se consideraron, dado que la participación fue un aspecto esencial para el enfoque y aplicación de esta investigación. Los valores obtenidos de dichas entrevistas aportaron los valores umbrales para cada indicador. En la valoración de los indicadores, a la mejor opción se le otorgó el valor más alto y a la peor le correspondió cero. Así mismo, en algunos indicadores se consideraron factores de corrección, es decir, se sumaron o restaron puntos a su valor de acuerdo con la presencia o ausencia de factores críticos para el desarrollo del indicador en cuestión (Cuadro 11).

Cuadro 11. Indicadores de sustentabilidad agrícola para los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Dimensión	Clave	Nombre	Valoración
Ambiental	DC	Diversidad de cultivos	>2cultivo=0.03; 2c=0.02; 1c=0.01 y 0c=0
	DG	Diversidad ganadera	>2especies de ganado=0.03; 2eg=0.02; 1eg=0.01 y 0eg=0
	CS	Conservación de suelo	2prácticas=0.04; 1p=0.02 y 0p=0
	CA	Conservación de agua	2prácticas=0.04; 1p=0.02 y 0p=0
	TF	Tipo de fertilización	Mixta=0.03; orgánica=0.02, sintética=0.01 y ninguna=0
	UP	Uso de agroquímicos en cultivos	Bajo=0.03; medio=0.02; alto=0.01 y ninguno=0
	UAG	Uso de agroquímicos en ganado	Bajo=0.02; medio=0.01 y alto=0
	TP	Tipo de potrero	Silvopastoreo=0.03; pasto mejorado=0.02; grama nativa=0.01 y sin cobertura herbácea=0
	ES ^{*1}	Erosión de suelo	Sin erosión=0.04; erosión laminar=0.03; escalones iniciales=0.02; escalones consolidados=0.01; cárcavas=0

Cuadro 11, continuación.

Económico	NIA	Nivel de ingresos por agricultura	>2 salarios mínimos=0.03; 2sm=0.02; 1sm=0.01 y <1sm=0
	EIA	Estacionalidad del ingreso agrícola	>8meses=0.04; de 6a8m=0.03; de 4a5m=0.02; de 2a3m=0.01; 1m=0
	EE	Empleo extrafinca	No=0.04; no, pero percibe divisas=0.02 y si=0
	SA ^{*2}	Seguridad alimentaria	De 5a6=0.06; de 4a3=0.04; de 2a1=0.02 y <1=0
	PC	Pérdidas en cultivos	De 5a15%=0.02; de 15 a 25%=0.01 y >25%=0
	PG	Pérdidas en ganadería	De 5a15%=0.02; de 15 a 25%=0.01 y >25%=0
	RP	Renta de pasto	0 meses=0.04; de 1a3m=0.03; de 4a6m=0.02; de 7a9m=0.01 y >10m=0
Social	CC ^{*3}	Cursos de capacitación	>2cursos=0.03; 2c=0.02, 1c=0.01 y 0c=0
	AC	Acceso a créditos	Si=0.01 y no=0
	AS	Acceso a programas de asistencia social	Ningún programa=0.03; 1p=0.02; 2p=0.01 y >2p=0
	OP	Organización con productores	Si=0.04; perteneció a una organización=0.02 y no=0
	VP	Comercialización de productos agrícolas	Consumidor=0.03; intermediario=0.02 y ninguno=0
Humano	ER	Edad del responsable	De 30-40 años=0.05; de 41-50=0.04; de 51-60=0.03; de 61-70=0.02; de 71-80=0.01 y >80=0
	EsR	Escolaridad del responsable	De 7a9 años=0.02; de 1a6=0.01 y ninguno=0
	EM	Escolaridad máxima en el AES	De 13a16=0.04; de 10a12=0.03; de 7a9=0.02: de 1a6=0.01 y ninguno=0
	GS	Satisfacción por la agricultura	Si=0.03 y no=0
	DCP	Deseos de continuar en agricultura del productor	Si=0.03 y no=0
	DCH	Deseos de continuar en la agricultura del heredero	Si=5 y no=0

Cuadro 11, continuación.

SB	Acceso a servicios básicos	4 servicios=0.04; 3s=0.03; 2s=0.02; 1s=0.01 y ninguno=0
EG	Presencia de enfermedad grave en la familia	No=0.04 y si=0

*Factor de corrección:

¹Erosión activa (-0.01), erosión estabilizada (0) y recuperación de suelo (+0.01); ²Relación: Miembros productores/miembros consumidores (R:P/C). R:P/C<0.3 (-0.01), R:P/C de 0.3 a 0.6 (0) y R:P/C>0.6 (+0.01);

³Familiares que asistieron al curso. Familiar que no toma decisiones (-0.01), responsable solo (0) y responsable + familiar joven (+0.01)

Para formular el Índice Agregado de Sustentabilidad Agrícola (IASA), con valor máximo de 1 y mínimo de 0, se sumaron las cuatro dimensiones consideradas, a las cuales se les ponderó su valor dentro del índice general de acuerdo a la importancia de cada una de ellas dado el contexto de la microcuenca POV 1 y el nivel jerárquico. Así, la dimensión ambiental y humana adquirieron mayor importancia, seguida de la económica y social, como se muestra a continuación:

$$IASA = ISA + ISE + ISS + ISH$$

Donde:

IASA= Índice Agregado de Sustentabilidad Agrícola (con valores mínimo 0 y máximo 1)

ISA= Índice de Sustentabilidad Ambiental (con valores mínimo 0 y máximo 0.3)

ISE= Índice de Sustentabilidad Económica (con valores mínimo 0 y máximo 0.25)

ISS= Índice de Sustentabilidad Social (con valores mínimo 0 y máximo 0.15)

ISH= Índice de Sustentabilidad Humana (con valores mínimo 0 y máximo 0.3)

Para evaluar la sustentabilidad de los AES de la microcuenca MPOV-1 entre localidades y entre grupos, se utilizó el programa Excel office 2007, el análisis estadístico del índice agregado de sustentabilidad se desarrolló con auxilio del paquete Statistics V6, se realizó un ANOVA para un diseño completamente al azar y las diferencias se determinaron con Tukey ($P \leq 0.05$).

De cada grupo se seleccionó un agroecosistema al azar, pues este es común dentro de cada grupo y se denominó agroecosistema tipo (AES T1, T2 y T3), en el que además se aplicó una segunda entrevista a profundidad descrita por Romo y Castillo (2002) y aplicada por Gallardo *et al.* (2010), y evaluaciones directas en campo de cobertura vegetal de los potreros mediante observación directa, disponibilidad de forraje (método de cuadrado medio), erosión de suelo por el métodos de clavos y rondanas modificado (Mendoza, 2005), pendiente (clinómetro electrónico, Mod. 26541, marca Haglöf Sweden), textura de suelos (Bouyoucos, 1936), contenido en suelo de N (microkjeldahl), P (Bray y Kurtz, 1945), K (Richter *et al.*, 1982) y MO (Nelson and Sommers, 1986). Para los análisis de suelo se colectaron muestras aleatorias en siete diferentes parcelas, con usos agrícolas distintos pertenecientes a los tres AES tipo, en un perfil de 0 a 15 cm de profundidad. La evaluación de campo se desarrolló en el ciclo agrícola 2009, entre junio de 2009 y enero de 2010.

Para realizar los modelos de simulación se usó el software Vensim® PLE (Ventana Systems, Inc., 2010). Una vez concluida la evaluación de sustentabilidad se desarrollaron talleres en las localidades para dar a conocer los resultados y el modelo desarrollado, para simular tres opciones diferentes de manejo para los agroecosistemas tipo (una sin modificaciones y dos

con diferentes modificaciones), según los comentarios de los productores y especialistas y con base a lo cual se establecieron relaciones entre los componentes (Cuadro 12).

Cuadro 12. Descripción de las modificaciones propuestas por los productores a los agroecosistemas tipo

Agroecosistema	Modificación	Características de la modificación
Tipo 1	Sin modificación	No se efectúan cambios en el manejo ni composición actual del agroecosistema.
	Modificación 1	Incremento en el número de cultivos, desarrollo de prácticas de conservación de agua y suelo, establecimiento de sistemas silvopastoriles y conservación de forraje, capacitación para la innovación tecnológica y manejo de créditos para la agricultura.
	Modificación 2	El agroecosistema se especializa en el manejo de la ganadería bovina de doble propósito, sin manejo de cultivo alguno.
Tipo 2	Sin modificación	No se efectúan cambios en el manejo ni composición actual del agroecosistema.
	Modificación 1	Especialización en el manejo de diferentes cultivos sin presencia del componente ganadero, conservación de agua y suelo, organización con productores, acceso a cursos de capacitación y a créditos agrícolas.
	Modificación 2	A diferencia de la modificación anterior (1), disminuye el número de tierras destinadas al manejo de cultivos para combinarlos con ganadería bovina.
Tipo 3	Sin modificación	No se efectúan cambios en el manejo ni composición actual del agroecosistema.
	Modificación 1	Manejo de dos cultivos diferentes (maíz y frijol) y ganadería bovina de doble propósito, prácticas de conservación de agua y suelo, capacitación técnica y organización entre productores.
	Modificación 2	Esta modificación a diferencia de la anterior (1), propone un manejo exclusivo de cultivos sin ganadería, siendo similar en los otros elementos.

Las precipitaciones en el ciclo 2009 correspondieron a las precipitaciones de un año típico, con una precipitación de 996 mm con el 96 % concentrada en cinco meses (Figura 7).

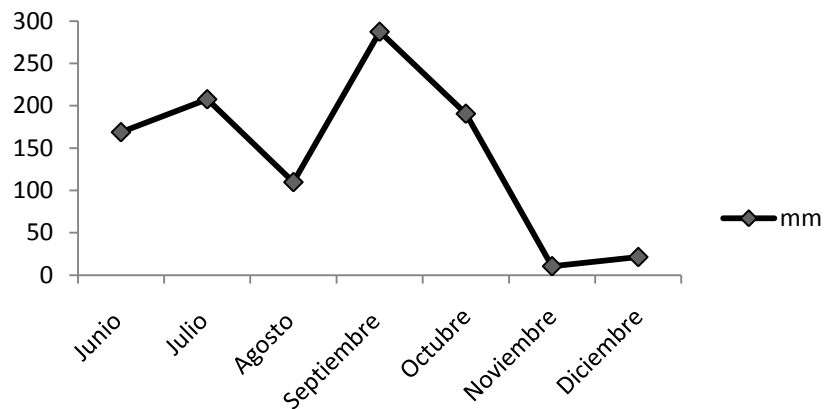


Figura 7. Precipitación de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el ciclo 2009 (CP-Veracruz, 2010)

2.3 Resultados y discusión

Estado actual de la sustentabilidad de los agroecosistemas

El grado de sustentabilidad de los AES de la microcuenca POV-1 de acuerdo a las posibilidades regionales, en promedio fue bajo (0.51). Entre localidades no hubo diferencias estadísticas ($P>0.05$), pero si entre grupos ($P<0.05$), siendo G1 el que presentó mayor grado de sustentabilidad (0.58), seguido de G3 y G2 con 0.53 y 0.48, respectivamente (Cuadro 13). Esta diferencia se debe a que los productores del G1 cuentan con la mayor disponibilidad de tierras, integran de manera más eficiente el manejo del ganado con el manejo de cultivos. Dentro de estas interacciones, el uso de rastrojo de maíz para alimentación del ganado en la época seca y el aporte de heces por parte de ganado durante el pastoreo en las áreas de cultivos, son las más importantes.

Cuadro 13. Nivel de sustentabilidad de los agroecosistemas por localidad y por grupo en la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Localidad	N	Mínimo	Máximo	Promedio
Acazónica	19	0.29	0.63	0.53
Angostillo	9	0.33	0.63	0.48
Paso Panal	4	0.42	0.57	0.50
Patancán	10	0.36	0.61	0.48
Rancho Nuevo	5	0.42	0.65	0.54
Xocotitla	9	0.49	0.60	0.55
Grupo				
1	10	0.51	0.68	0.58 ^a
2	23	0.33	0.64	0.48 ^b
3	23	0.41	0.63	0.53 ^b

^{a,b,c} Literales diferentes en la misma columna representan diferencias significativas (P<0.05)

En este estudio, la disponibilidad y calidad de las vías de acceso de las diferentes localidades hacia la cabecera municipal, no influyeron en el grado de sustentabilidad de los AES, dado que Angostillo y Patancán se encuentran más próximas a la cabecera municipal y su sustentabilidad es baja en comparación con los AES de Rancho Nuevo y Xocotitla, que se encuentran más alejadas y con vías de acceso de menor calidad. Aunque en general, el mal estado de las vías de comunicación afecta la sustentabilidad de los AES, principalmente en el

aspecto económico, porque propicia la comercialización de los productos agrícolas a bajo precio, por los altos costos de transporte para los compradores, que generalmente están constituidos por intermediarios o procesadores, en el caso de la leche.

En las cuatro dimensiones consideradas para integrar el IASA, se observó un comportamiento similar en las seis localidades (Figura 8). Así, el eje con menor valor y más similar entre localidades (de 0.3 a 0.4) fue el social. Esto se debió a que en la microcuenca se ha reproducido el mismo patrón de comportamiento social, con una fuerte indiferencia hacia la organización (solo en Rancho Nuevo, se ha logrado consolidar un grupo organizado de productores, por lo que se sitúa ligeramente con un mayor nivel que las otras cinco localidades), dependencia de apoyos gubernamentales de asistencia social y emigración. Los sitios hacia donde emigran las personas son diferentes, siendo Acazónica la localidad con mayor número de emigraciones hacia EEUU (Estados Unidos de America), como lo demuestran Gallardo *et al.* (2010), al reportar que el 25% de la población ha emigrado hacia EEUU y el efecto de las remesas fue palpable en la dimensión humana y en la infraestructura habitacional y productiva, dado que las familias agrícolas con acceso a remesas, satisficieron de mejor manera sus necesidades personales de alimentación, educación, salud, esparcimiento y casa habitación; así esta dimensión fue la que presentó mayor variación en los valores entre localidades, y fue mayor en Acazónica (0.74) y menor en Paso Panal (0.5); en esta última localidad, también se encontró la menor migración en los AES evaluados.

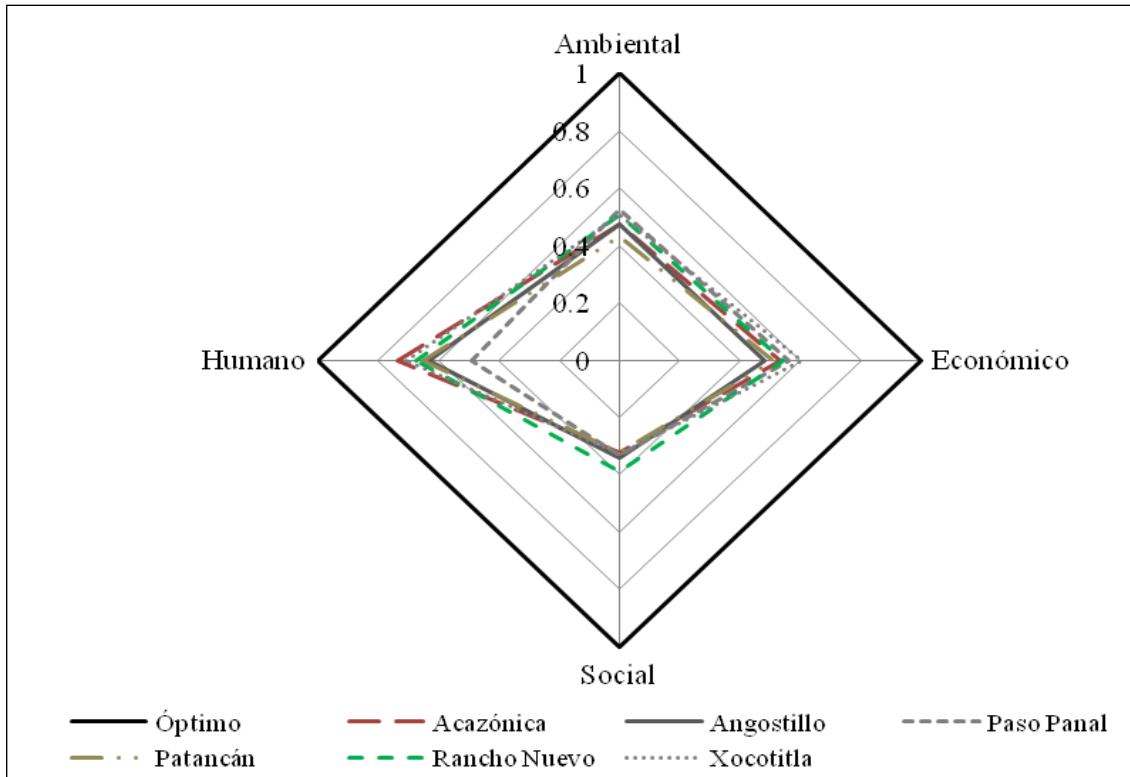


Figura 8. Dimensiones de sustentabilidad de los agroecosistemas por localidad de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. (1 es el valor máximo y 0 es el valor mínimo, con base en las condiciones locales y actuales).

Una percepción más profunda sobre los aspectos que condicionan la sustentabilidad de los AES de la microcuenca POV-1, se logró cuando se analizaron los 29 indicadores por separado (Figura 9). Así, se observó la existencia de una baja diversidad agrícola y ganadera y que se realizan pocas prácticas de conservación de agua y suelo, aunque existe conocimiento y preocupación por parte de los productores con respecto al proceso de pérdida de suelo y agotamiento de las fuentes de almacenamiento de agua. Por otro lado, el indicador del tipo de fertilizante utilizado mostró un valor elevado de acuerdo al rango establecido, debido a que en la mayoría de los casos existe fertilización con productos sintéticos más el aporte de heces por parte del ganado bovino que pastorea en la época de estiaje en las áreas de cultivo, ya sea animales propios o por el arrendamiento de tierras a otros productores, en el caso de los

agroecosistemas sin ganado bovino. El uso de productos químicos fue mayor en cultivos que en ganadería, debido a que se realizan menos prácticas de manejo en estos últimos. Los potreros se encontraban constituidos principalmente por gramíneas nativas y mejoradas; sin embargo, debido a la estacionalidad de la producción de forraje por efecto de la distribución de las lluvias en un periodo corto de tiempo por un lado y a la falta de prácticas de manejo de las praderas y conservación de forraje por el otro, los productores se ven obligados a arrendar potreros para pastorear el ganado en la época seca.

El ingreso por actividad agrícola en los AES de la microcuenca POV-1 fue bajo; los ingresos más altos se observaron en Xocotitla con un promedio de 1.2 salarios mínimos, y los más bajos se presentaron en Rancho Nuevo, con 0.5 salarios mínimos. Esta situación ha originado que los productores y demás integrantes de las familias recurran al empleo extrafinca para satisfacer las necesidades económicas, empleándose como jornaleros agrícolas o de la construcción en la región, actividades de comercio en las ciudades del estado y del país, o migrando hacia los EEUU. Esto ha propiciado un proceso de desterritorialización, que según Entrena (2003), es un éxodo poblacional del campo que provoca que no se controlen los procesos de acción productiva, organizativa, relacional y cultural, en la región. También, en algunos casos existen pérdidas económicas, pero los ingresos por trabajo extrafinca y por divisas atenúan u ocultan el problema. En el periodo de estudio, las pérdidas fueron mayores en cultivos que en ganado, llegando a ser hasta del 100 % en algunos casos en el cultivo de maíz; sin embargo, esta pérdida del grano representa una disponibilidad de 3.3 t MS ha⁻¹ de rastrojo para el ganado. También se observó un fenómeno cultural y de arraigo a la tierra, que impulsa a los productores a sembrar nuevamente cada año, aun cuando se hayan

experimentado pérdidas de gran magnitud en el ciclo anterior, porque experimentan un sentimiento de bienestar por realizar las labores agrícolas (especialmente del cultivo de maíz), esto aunado a que es la única opción productiva para muchos productores, y a que siempre buscan y esperan obtener mejores rendimientos. La seguridad alimentaria en los AES evaluados, fue baja, debido a que se ha dado un proceso de abandono de los traspatios, que es una fuente importante de alimentos. Las causas principales de dicho fenómeno son dos: 1) los responsables del programa oficial de OPORTUNIDADES (programa federal de transferencia monetaria a las familias pobres), por normatividad, impiden a las familias mantener cultivos “monte” en los patios de las casas, para evitar la proliferación de fauna nociva, y 2) porque productos como pollo y huevo criollos, dos de las principales fuentes de proteína de los traspatios, son poco consumidos en los AES de la microcuenca POV-1.

Los cursos de capacitación a los que han asistido los diferentes integrantes las familias de los AES han sido pocos en los últimos cuatro años, y han sido solo los promovidos por investigadores del CP-Veracruz, sobre uso de guácimo (*G. ulmifolia*) asociado con gramíneas, y dos más promovidos por el Gobierno Municipal sobre elaboración de escobas y cría de cerdos. De igual manera, el manejo de créditos para la agricultura ha sido poco implementado en la microcuenca POV-1; sin embargo, recurrir a éste sin previa organización y capacitación técnica y administrativa, lejos de constituir una opción para el desarrollo, puede comprometer la estabilidad económica y social en los AES de dicha microcuenca. Por otra parte, se observó una alta dependencia a los programas de asistencia social federales y estatales, al grado de constituirse como parte importante en los ingresos de algunas familias, sobre todo las que cuentan con más de tres apoyos diferentes. Se observó además, que no se han logrado crear

canales eficientes de comercialización y la mayor parte de los productos en las seis localidades se venden a intermediarios, con todos los inconvenientes que esta práctica conlleva, principalmente bajos precios de comercialización y liquidación tardía de los montos.

La edad de los productores fue un factor limitante para la implementación de prácticas sustentables de manejo, puesto que en promedio es de 57 años, con un mínimo de 24 y un máximo de 87, además el 15% de los responsables tuvo más de 70 años de edad. El panorama se complica debido a que en algunos casos, los herederos de los AES no desean continuar con la actividad agrícola; incluso, se observó que en Paso Panal varios de los responsables actuales tampoco desean continuar, pero trabajan en la agricultura por ser la única opción productiva con que cuentan, también en esta localidad existe el menor grado de satisfacción por la agricultura. Un fenómeno que afectó fuertemente a la sustentabilidad de los AES es la presencia de enfermedades graves en la familia, la cual afecta de dos maneras distintas; la primera por los gastos económicos por servicios médicos que ocasiona, y la segunda, porque esta implica que alguno de los familiares sanos debe dedicar tiempo para el cuidado del familiar enfermo, lo que disminuye la capacidad de trabajo de la familia, especialmente importante si consideramos que la mano de obra empleada en el AES es la familiar.

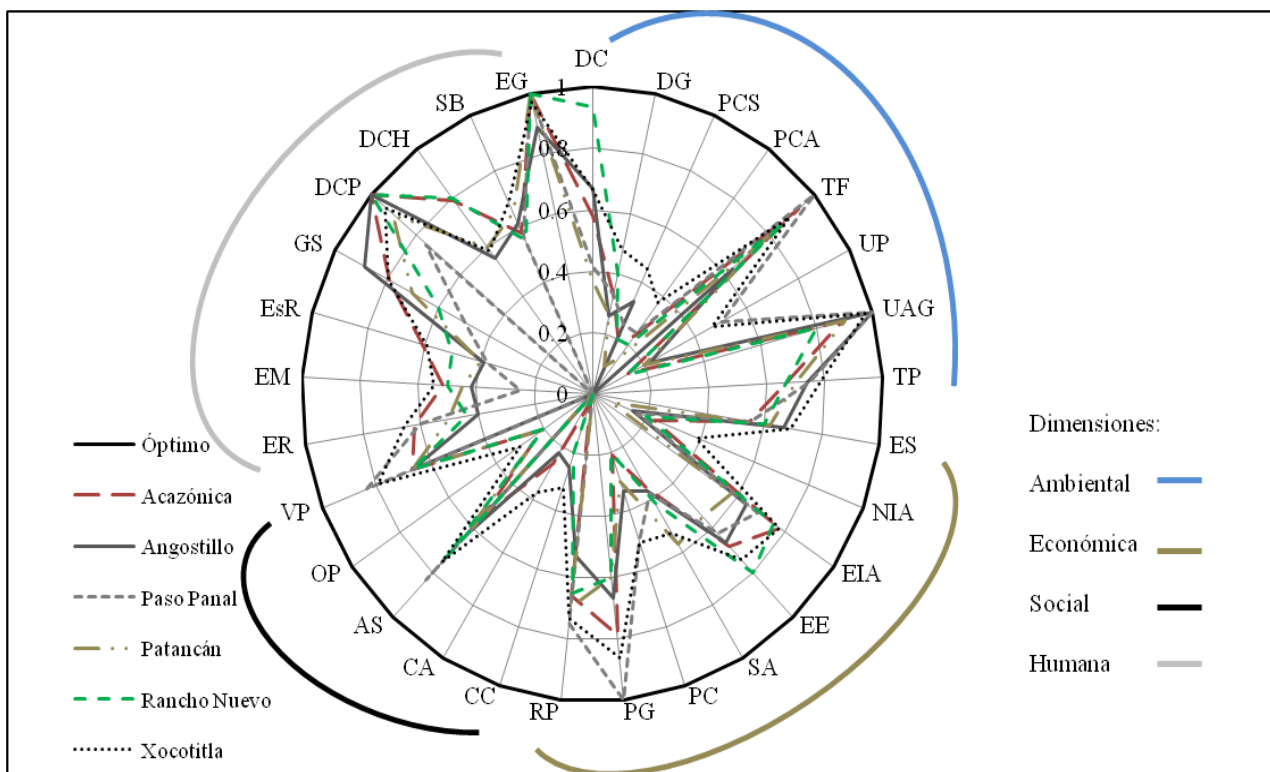


Figura 9. Indicadores de sustentabilidad de los agroecosistemas por localidad de la microcuenca Paso de Ovejas 1 en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. (1 es el valor máximo y 0 es el valor mínimo, con base en las condiciones locales y actuales).

En el análisis por grupo de AES, se observaron diferencias en el desarrollo de las cuatro dimensiones (Figura 10a). Se observó además, que la tendencia en los cuatro grupos fue similar, únicamente G1 sobresalió en la dimensión humana y social, mientras que G2 presentó los valores más bajos en la dimensión económica. Por otra parte, la similitud del comportamiento de la dimensión ambiental en los tres grupos se debió a que en general se realizan las mismas prácticas de manejo de los recursos naturales, que son tradicionales y desarrolladas localmente, aunque el número de prácticas que se realizan en la actualidad es mínimo según lo observado, pero los productores comentaron tener el conocimiento de algunas otras prácticas que se realizaban anteriormente. También G1 y G3 tuvieron los valores más altos en la dimensión económica, lo que se debe a que cuentan con mayor cantidad de ganado bovino de doble propósito que les permite mayores ingresos económicos por la venta

de leche y becerros, aunque sea en pequeñas cantidades; además el G1 tuvo menor necesidad de comprar pasto, por contar con mayor disponibilidad de tierras para pastoreo y también sembró mayor superficie de maíz, por lo que dispuso de una cantidad importante de rastrojo en la época seca (Figura 10b).

También se observó que en pocos casos los productores han implementado estrategias, como construcción de ollas para captura de agua de lluvia, manejo de suplementación nutricional del ganado (utilizando maíz, algunas semillas de leguminosas de la región, melaza, entre otros) e industrialización de productos agrícolas. Es importante resaltar que la dimensión humana es la más desarrollada en los tres grupos, lo que se debe al efecto de los programas de asistencia social, empleo extrafinca y remesas del extranjero, sobre el acceso a servicios para satisfacer las necesidades de la familia (salud, educación, nutrición, recreación, vestido, entre otros), aunque esto de alguna manera ha dificultado la organización social para la implementación de estrategias comunitarias de desarrollo y manejo de los recursos naturales.

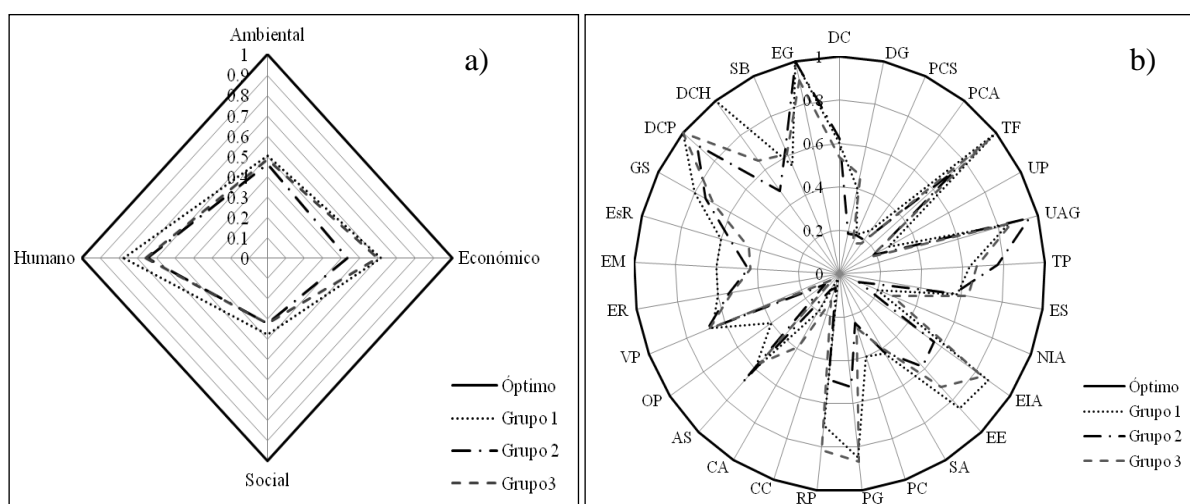


Figura 10. Sustentabilidad de los tres grupos de agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz. (siendo 1 el valor máximo y 0 el valor mínimo, con base en las condiciones locales y actuales, en donde; a) comportamiento de las cuatro dimensiones de sustentabilidad y b) comportamiento de los 29 indicadores de sustentabilidad).

Los AES de la microcuenca POV-1, según la información recabada con los productores de mayor edad, hace aproximadamente 30 años eran más homogéneos entre sí y más diversificados, combinaban el cultivo de papaya, maíz, frijol, tomate, chile, sorgo para escoba, calabaza y ocasionalmente sandía y ajonjolí, con el manejo de ganado bovino, porcino y aviar, pero diferentes situaciones tanto de mercado (incremento de precio de insumos, decremento de precios de venta, y preferencias del mercado, entre otros), ambientales (baja fertilidad del suelo, escasez de agua y presencia de fenómenos naturales), sociales (falta de organización y migración) y culturales (modificación de hábitos de consumo y preferencia por productos foráneos), han provocado una baja rentabilidad económica, ocasionando que los AES se hayan modificado estructural y funcionalmente, para hacer frente a dichas situaciones desfavorables. En este proceso, algunos AES han incrementado su tamaño a costa de la disminución o desaparición de otros, también, algunos AES han sido abandonados y la vegetación nativa se encuentra en una etapa de recuperación o forman parte temporal o permanente de otro AES (renta, préstamo o venta de tierras). Todo lo anterior, aunado a que los familiares jóvenes cuentan con mayor oportunidad de estudio, nuevas y mejores oportunidades de empleo fuera de la microcuenca POV-1, lo que ha propiciado la disminución de mano de obra para la agricultura.

Los análisis de suelo de los AES tipo muestran un bajo contenido de nutrientes en todos los casos y extremos en algunos de ellos (Cuadro 14); es necesario mencionar que el único elemento utilizado regularmente por los productores para fertilizar es N en forma de urea, y esporádicamente aplican K y P, en bajas cantidades. Por tanto, es prioritario mejorar el

contenido de MO, por ser un factor clave en el proceso de recuperación de las características químicas y físicas del suelo (García, 2006; Janzen, 2006; Morón, 2003; Osuna *et al.*, 2006).

Cuadro 14. Características físicas y químicas del suelo de los agroecosistemas tipo de la microcuenca Paso de Ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Tipo	Cultivo	Textura	M.O. (%)	N (ppm)	PO ₄ (ppm)	K (ppm)
1	Maíz	Migajón arcilloso	2.3	0.1	0	20
1	Potrero	Migajón arcilloso	3	0.15	0.5	20
2	Maíz	Franco	2.09	0.1	1	20
2	Potrero	Migajón arenoso	1.2	0.06	1	25
3	Maíz	Migajón arcilloso	2.2	0.1	0	25
3	Maíz	Franco	3	0.5	1	10
3	Potrero	Migajón arcilloso	3.5	0.17	0	25

Durante el periodo de estudio se presentó un proceso de erosión hídrica del suelo (Cuadro 15), que va de normal a moderada según la clasificación de la FAO (1980), citada en Mendoza (2005). Se registró una menor erosión en los potreros en comparación con las áreas de cultivo de maíz, debido a que estos últimos se aran cada dos años, o incluso cada año en algunos casos. En el ciclo evaluado, los cinco sitios con cultivos estudiados se araron con arado de discos. Anteriormente se utilizaban arados de tracción animal, pero es una actividad que se ha dejado de realizar.

Cuadro 15. Erosión hídrica de suelo de los agroecosistemas tipo de la microcuenca Paso de ovejas 1 del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

Tipo	Uso agrícola	Pendiente (%)	Erosión (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Intensidad
1	Maíz	7	1.5	Ligera
1	Potrero	19	0.3	Normal
2	Maíz	13	2.3	Ligera
2	Maíz	13	0.9	Ligera
3	Maíz	9	1.5	Ligera
3	Maíz	24	7.6	Moderada
3	Potrero	5	0.5	Normal

Modelaje y escenarios de sustentabilidad

Integrando la información de campo en el modelo para determinar escenarios y mejorar la sustentabilidad en un periodo de 20 años, se desarrolló el modelo que se muestra en la Figura 11 y los valores de entrada para cada escenario se muestran en el Cuadro 16.

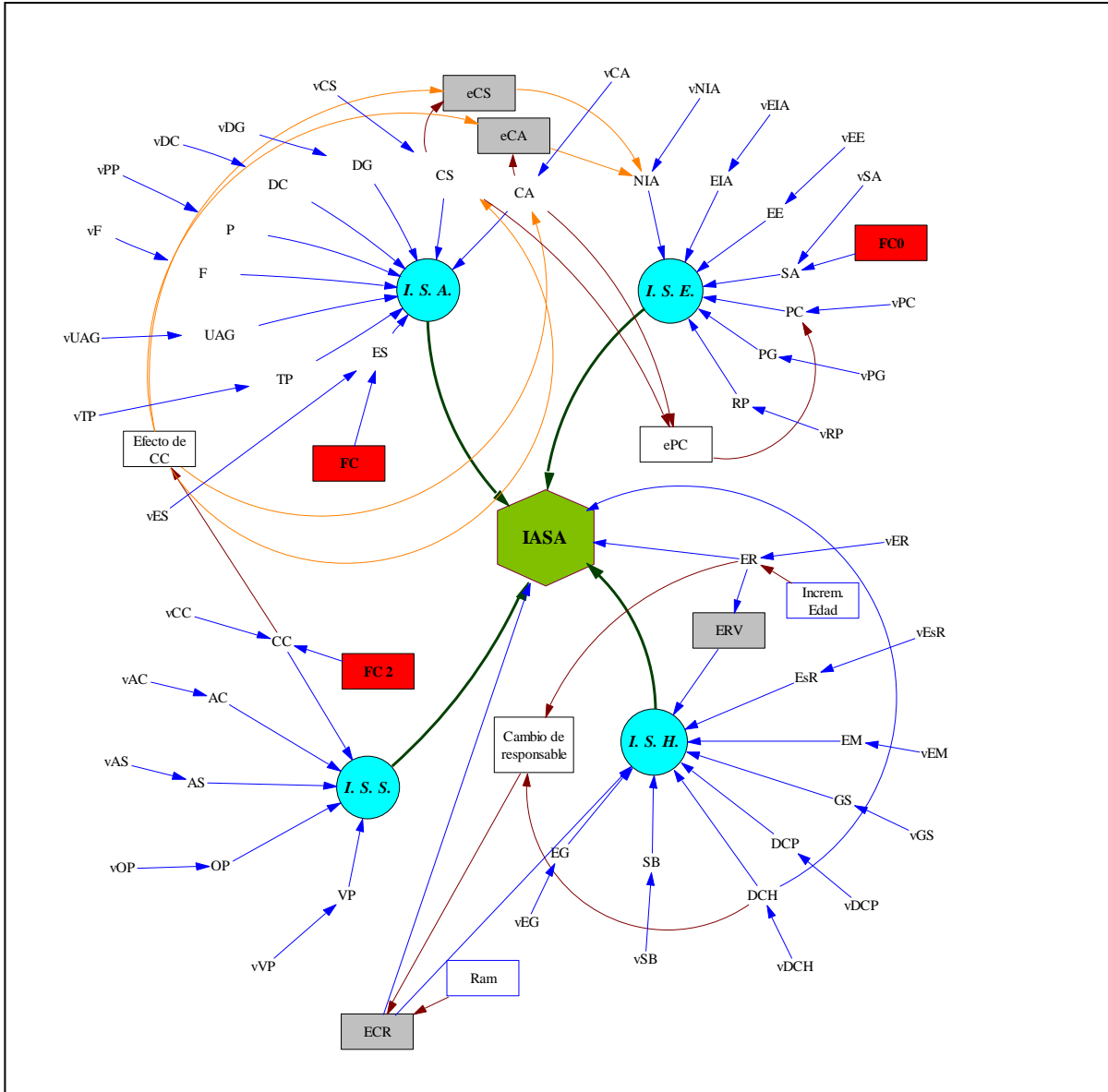


Figura 11. Modelo de simulación de la sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, en el estado de Veracruz, México; utilizando el programa Vensim ® PLE. Dónde: DC=Diversidad de cultivos, DG= Diversidad ganadera, CS= Conservación de suelo, CA= Conservación de agua, TF= Tipo de fertilización, UP= Uso de agroquímicos en ganado, TP= Tipo de potrero, ES=Erosión de suelo, NIA= Nivel de ingresos por agricultura, EIA= Estacionalidad del ingreso agrícola, EE= Empleo extrafinca, SA= Seguridad alimentaria, PC= Pérdidas en cultivos, PG= Pérdidas en ganadería, RP= Renta de pasto, CC= Cursos de capacitación, AC= Acceso a créditos, AS= Acceso a programas de asistencia social, OP= Organización con productores, VP= Comercialización de productos agrícolas, ER= Edad del responsable, EsR= Escolaridad del responsable, EM= Escolaridad máxima en el AES, GS= Satisfacción por la agricultura, DCP= Deseos del productor de continuar en la agricultura, DCH= Deseos del heredero de continuar en la agricultura, AB= Acceso a servicios básicos y EG= Presencia de enfermedades graves en la familia. Las casillas externas, en donde las siglas son antecedidas por “v” son las entradas para el valor real de la variable al modelo.

Cuadro 16. Entradas al modelo de simulación para crear escenarios de sustentabilidad de los agroecosistemas tipo.

Indicador	T1-SM	T1-M1	T1-M2	T2-SM	T2-M1	T2-M2	T3-SM	T3-M1	T3-M2
DC	2	3	0	1	3	3	1	2	0
DG	1	2	1	2	0	1	1	1	1
CS	1	2	1	1	2	2	0	2	1
CA	2	2	1	1	2	2	0	1	1
F	1	3	3	3	1	3	3	3	3
P	1	2	1	1	2	2	0	2	2
UAG	1	2	0	0	2	1	2	1	2
TP	3	3	3	2	3	2	2	2	2
ES	3	3	3	0	0	0	1	2	2
NIA	1	1	3	0	1	2	0	1	1
EIA	4	4	4	3	3	4	4	4	4
EE	2	2	2	0	2	2	2	2	2
SA	2	2	1	2	3	3	2	2	1
PC	1	1	2	1	2	1	0	1	2
PG	2	2	1	1	2	1	1	2	2
RP	0	0	0	4	4	1	0	0	0
CC	1	3	3	2	3	3	0	3	3
AC	0	1	1	1	1	0	0	0	1
AS	0	0	0	2	2	2	1	1	1
OP	0	2	2	2	4	1	2	2	2
VP	2	2	2	1	2	2	1	1	1
ER	75	75	75	51	51	51	63	63	63
EsR	1	1	1	1	1	1	2	2	2
EM	1	1	1	1	3	3	4	4	4
GS	0	0	0	0	1	1	0	0	0
DCP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DCH	1	1	1	1	1	1	0	0	0
SB	3	3	3	3	3	3	4	4	4
EG	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Donde: T1= Tipo uno, T2= Tipo dos, T3= Tipo tres, SM= Sin modificación, M1= Modificación uno, M2= Modificación dos

Al desarrollar las simulaciones, se observó que bajo las condiciones de manejo actuales en el AES T1 (Figura 12), se prevé un incremento de la sustentabilidad a partir del quinto año. La modificación uno, que se refiere a incrementar la diversidad de cultivos, desarrollar prácticas

de conservación de suelo y agua, establecer sistemas silvopastoriles, implementar prácticas de conservación de forraje, así como fortalecer la capacitación para la innovación tecnológica y de manejo de créditos por parte de los productores, muestra el mejor escenario, alcanzando un valor de 0.83 a los seis años de implementación. La modificación dos se refiere a una especialización en ganadería bovina y se ubica entre las dos anteriores. Por la elevada disponibilidad de tierras del AES, la modificación uno parece ser la más adecuada.

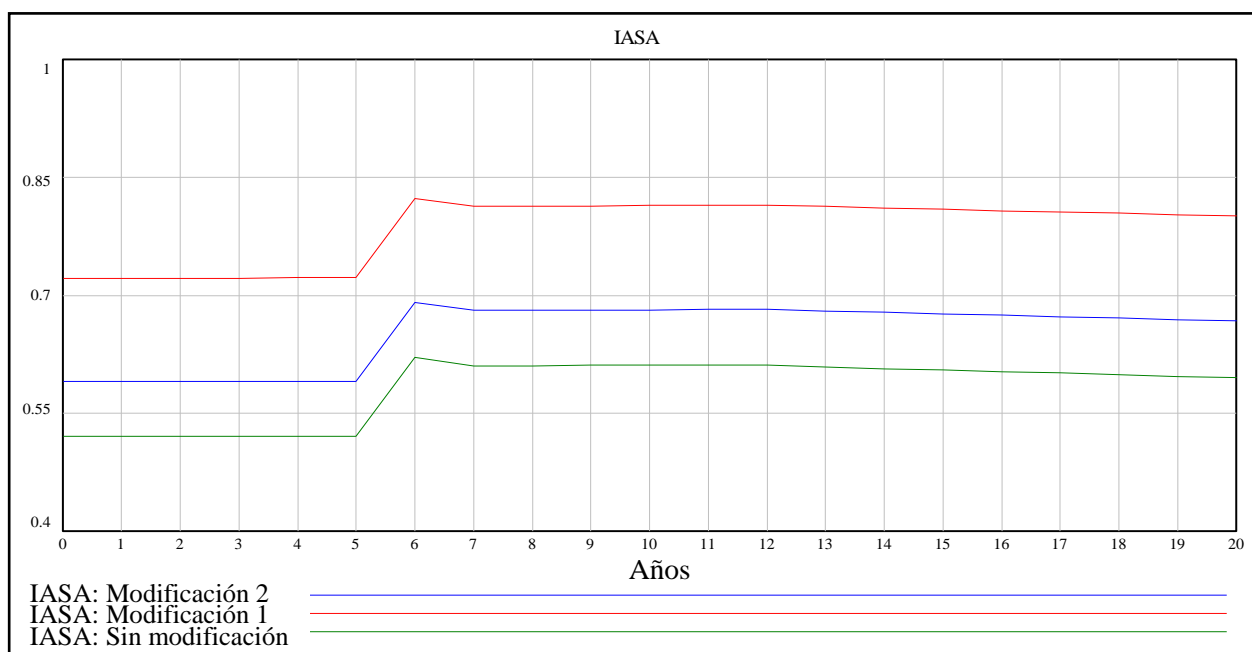


Figura 12. Escenarios de sustentabilidad para el agroecosistema tipo 1, usando Vensim® PLE

En el AES T2, al no realizar modificaciones se observa que la sustentabilidad del AES se mantendrá igual y presentará una ligera baja en el año 11(Figura 13). La modificación uno que consiste en manejar diferentes cultivos sin presencia de ganado, implementar prácticas de conservación de agua y suelo, organizarse con otros productores, asistir a cursos de capacitación y acceder a créditos, presenta los mejores valores de sustentabilidad a corto plazo (0.77), mientras que la modificación dos, similar a la anterior, pero con disminución del

número de cultivos para compartir tierras con el manejo de ganado bovino, muestra un comportamiento ubicado entre las dos opciones anteriores. Por la baja disponibilidad de tierra y baja capacidad de carga animal de los pastizales, la opción de manejo único de cultivos diversificados parece ser la mejor opción para este AES.

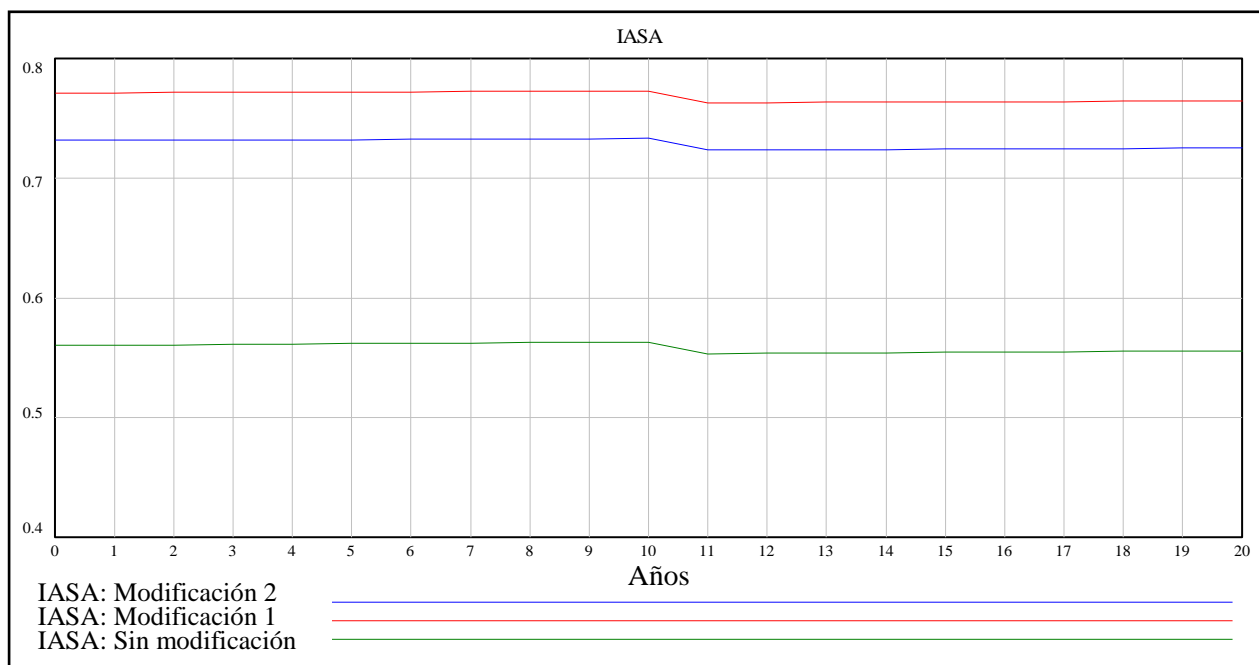


Figura 13. Escenarios de sustentabilidad del agroecosistema tipo 2, usando Vensim® PLE

Finalmente en el AGS T3, mientras se continúe con el manejo implementado en el periodo de estudio, el grado de sustentabilidad seguirá siendo bajo (0.39), pero estable hasta el año 19 (Figura 14). Con la modificación uno que se refiere a la presencia de dos cultivos y ganado bovino, implementar prácticas de conservación de agua y suelo, asistir a cursos de capacitación y organizarse con otros productores, se observa un incremento a corto plazo; mientras que con la modificación dos, que se refiere al manejo exclusivo de cultivos y demás medidas antes mencionadas, la sustentabilidad se incrementa en comparación con el manejo actual pero es menor que con la modificación uno. En los tres escenarios se observa una caída

precipitada de la sustentabilidad en el año 19, debido a que en este año el productor tendrá una edad de 82 años, por lo que ya no podría hacerse cargo del manejo del AES y los herederos no van a continuar con la actividad, debido a que son profesionistas y cuentan con empleos estables en una ciudad diferente y distante. Así mismo, no se consideró la opción de dedicarse exclusivamente a la ganadería porque el AES T3 no cuenta con suficientes tierras para pastoreo, actualmente renta pastizales durante todo el año.

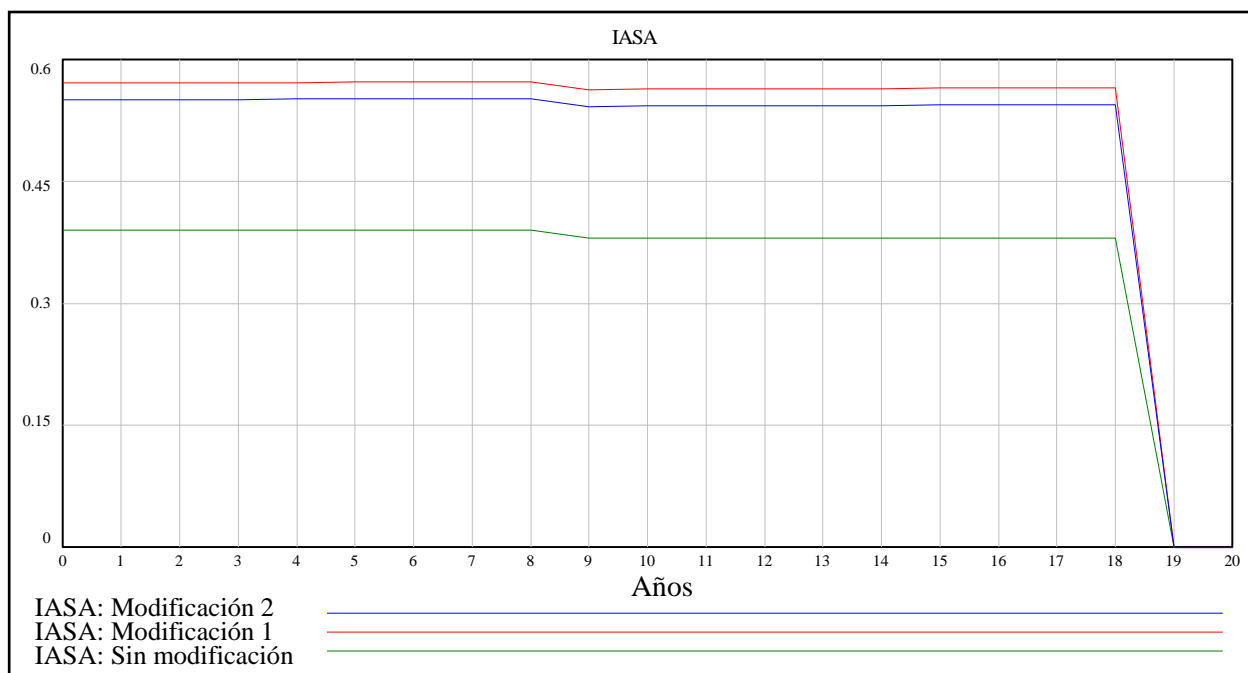


Figura 14. Escenarios de sustentabilidad del agroecosistema tipo 3, usando Vensim® PLE

2.4 Conclusiones

Los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, presentaron bajo grado de sustentabilidad, de acuerdo a valores locales. La baja sustentabilidad se debe a constantes restricciones en el ámbito ambiental, social y económico para el desenvolvimiento de los agroecosistemas, lo que afecta el desarrollo humano de las familias agrícolas. El grado de integración de los componentes ganado y cultivos, repercuten en el grado de sustentabilidad

del agroecosistema. Existe similitud en las dimensiones social, económica y humana en las seis localidades de la microcuenca; sin embargo, el CONAPO considera solo a cuatro de las seis con alta marginalidad, lo que podría repercutir en la focalización de recursos y posterior desarrollo para las dos localidades no consideradas como de alta marginalidad. El modelaje se presentó como una herramienta útil para evaluar el efecto futuro de intervenciones presentes, y tomó relevancia por la participación de los productores en el proceso; sin embargo, es conveniente trabajar en la forma de hacer al modelaje más fácil, rápido, ilustrativo y accesible, para productores y tomadores de decisiones. También es necesario validarlo teórica y estadísticamente, pero fundamentalmente en el contexto real al implementar cambios en los agroecosistemas.

2.5 Literatura citada

- Bartlett, A. A. 2006. Reflexiones sobre sostenibilidad, crecimiento de la población y medio ambiente. En: Keiner M. (ed), El futuro de la Sostenibilidad. Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich. Springer, Dordrecht, The Netherlands. sp.
- Bouyoucos, G. S. 1936. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soli Sci.*, 4:225-228.
- Bray, R. and L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Cáceres, D. 2006. Sustentabilidad como concepto situado. Un marco conceptual para la construcción de indicadores. *Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario*, 8:1-17.
- Cáceres, D. 2009. La sostenibilidad de explotaciones campesinas situadas en una reserva natural de Argentina central. *Agrociencia*, 43:539-550.

- Candelaria, M. B., Ruiz, R. O., Gallardo, L. F., Pérez, H. P., Martínez, B. A. y V. L. Vargas. 2010a. El concepto de sustentabilidad agrícola, sus implicaciones y métodos de evaluación. Interciencia, (En prensa).
- Candelaria, M. B., Ruiz, R. O., Gallardo, L. F., Pérez, H. P., Martínez, B. A. y V. L. Vargas. 2010b. Caracterización estructural, funcional y por conservación de los recursos naturales de los agroecosistemas de la micrucuenca Paso de Ovejas 1. Tropical and subtropical agroecosystems (En prensa).
- Candelaria, M. B., Ruiz, R. O., Gallardo, L. F., Pérez, H. P., Martínez, B. A. y V. L. VargasL. 2010c. BAESA (Bases Agroecológicas para la Evaluación de Sustentabilidad Agrícola). Línea AES-CP (Línea Prioritaria de Investigación en agroecosistemas Sustentables del Colegio de Postgraduados). 60 pp.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2010. www.conagua.gob.mx. Fecha de consulta 20/10/2010.
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2005. Índice de marginación a nivel localidad. http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=194 Fecha de consulta 2/12/2010.
- COMUDERS- PO (Consejo Municipal de Desarrollo Sustentable de Paso de Ovejas Veracruz). 2006. Diagnóstico municipal de Paso de Ovejas. 91 pp.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2007. Mapas de pobreza por ingresos y rezago social. www.coneval.gob.mx. Fecha de consulta 20/10/2010
- Entrena, D. F. 2003. La desterritorialización de las comunidades locales rurales y su creciente consideración como unidades de desarrollo. Revista de cooperativismo agrario y desarrollo rural, 3:29-42.
- FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido). 2005a. Guía técnica para la elaboración de planes rectores de producción y conservación (PRPC). SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 163 p.
- FIRCO. 2005b. Plan rector de producción y conservación Paso de Ovejas 1. 95 p.

- Gallardo, L. F., Martínez, G. S. E. y Nava, T. M. E. 2010. Redes migratorias y procesos de toma de decisiones en los agroecosistemas de Acazónica y Hato de la Higuera, Veracruz. En: Nava, T. M. E. (Editor), Migración y desarrollo rural en cuatro regiones campesinas de Veracruz. Colegio de Postgraduados y Universidad Autónoma Chapingo. p 103-124. ISBN: 978-607-8040-10-0
- García, F. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas*, 29:13-16.
- Gormley, H. L. L. y F. L. Sinclair. 2003. Modelaje participativo del impacto de los arboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40):103-108.
- IMCO (Instituto Mexicano para la Competitividad). 2007. Situación de la competitividad de México-2006: punto de inflexión. México, D.F. pp: 129-165.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información). Censo nacional de población y vivienda. 2002. www.inegi.gob.mx
- Janzen, H. H. 2006. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it?. *Biology and Biochemistry*, 38:419-424.
- Masera O., Astier M. y R. S. López. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales (el marco de evaluación MESMIS). GIRA, UNAM, México, D.F. 103 pp.
- McMichael, A. J., Butler, C. D and C. Floke. 2008. New visions for addressing sustainability. *Science*. 302(12): 1919-1920
- Mendoza, A. M. E. 2005. Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. UNA (Universidad Nacional Agraria), PASOLAC (Programa para la Agricultura en Laderas de América Central) CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Documento No. 502, Serie técnica 5/2005. p 10-15.
- Morón, A. 2003. Principales contribuciones del experimento de rotaciones cultivos-pasturas del INIA La Estanzuela en el área de fertilidad de suelos (1963-2003). Simposio “40

- años de rotaciones agrícola-ganaderas”. Serie Técnica No. 134. INIA La Estanzuela. Uruguay.
[http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/A3D08B283C19F19103256E040071372C/\\$file/A.Moron-Rotaciones-INIA+La+Estanzuela.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/A3D08B283C19F19103256E040071372C/$file/A.Moron-Rotaciones-INIA+La+Estanzuela.pdf). Fecha de consulta 24/10/2010
- Nahed, T. J., Castel, J. M., Mena, Y. y F. Caravaca. 2006. Appraisal of the sustainability of dairy goat systems in Southern Spain according to their degree of intensification. *Livestock Science*, 101:10-23.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Klute A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy 9. 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA. pp: 539-547.
- Osuna, C. E.S., Figueroa, S. B., Oleschko, K., Flores, D. M de L., Martínez, M. M. R. y F. V. González. 2006. Efectos de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *Agrociencia*, 40:27-38.
- Richter, M., M.E. Conti, y G. Maccarini. 1982. Mejoras en la determinación de cationes intercambiables, acidez intercambiable y capacidad de intercambio catiónica. Universidad de Buenos Aires. *Rev. Facultad de Agronomía* 3:145-157.
- Romo, M. M. y D. C. Castillo. Metodologías de las ciencias sociales aplicadas al estudio de la nutrición. *Revista chilena de nutrición*, 29(1):14-22
- Ruiz R. O. 2001. The systems approach for sustainable development at catchment and parish group levels. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 8:79-84.
- Statistica V6. 2002. StatSoft, Inc. Computer program manual. Tulsa, OK:StatSoft, Inc.,2300 East 14th Street, Tulsa, OK. <http://www.statsoft.com>. 23 Febrero 2010
- Teissier, F. H. C. 2007. Una visión Sistémica sobre la agricultura sustentable. X Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Boca del Rio, Veracruz.
- Vant, A., Bakken, L., Bleken, A. M., Baadshaug, H. O., Fykse, H., Haugen, E. L., Lundekvam, H., Morken, J., Romstad, E., Rorstad, K. P., Skjelvag, O. A. and T. Song.

2006. A methodology for integrated economic and environmental analysis of pollution from agriculture. *Agricultural Systems*, 88:270-293.

Ventana Systems Inc. 2010. Vensim ® PLE. <http://www.vensim.com/cgi-bin/download.exe>. 7
Octubre 2010

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

No se encontraron elementos para rechazar la H1, dado que los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, presentaron diferencias en estructura y funcionamiento por la interacción de sus componentes; dicha diferenciación es una respuesta de adaptación hacia factores económicos, ambientales y sociales, que se han presentado como restricciones para la permanencia y desarrollo de dichos agroecosistemas, y además está en función de la racionalidad del responsable influenciada por la edad (experiencia) y la escolaridad (conocimientos y oportunidad de conocer e interpretar información). Se concluye además que la estructura y función actual de los agroecosistemas es el reflejo de modificaciones a través del tiempo por restricciones en las dimensiones social, humana, económica y ambiental, en donde dichas modificaciones han permitido la adaptación a las nuevas condiciones y la permanencia de los agroecosistemas.

No se encontraron elementos para rechazar la H2, debido a que la sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 se encuentra fuertemente condicionada por aspectos sociales y humanos, los cuales han permitido la permanencia de dichos agroecosistemas, aunque los rubros económico y ambiental presentan diversas restricciones, e incluso han forzado a que un porcentaje de la población emigre en busca de empleo hacia la ciudad o a los Estados Unidos de América. Así mismo, se observó dependencia de la sustentabilidad de los agroecosistemas en cuanto a sus relaciones inter e intraespecíficas.

No se encontraron elementos para rechazar H3, debido a que en la microcuenca los agroecosistemas que integran en su manejo y conformación al menos un cultivo y una especie ganadera presentaron mayor sustentabilidad que aquellos que se conformaron exclusivamente por cultivos. Observándose además que el manejo del ganado proporciona una mayor estabilidad al agroecosistema que el manejo de los cultivos, pero cuando se complementan ambos se obtiene un mejor uso de los recursos. No se observó con claridad cuál o cuáles son los factores que motivan la decisión de integrar el componente ganadero, dado que se encuentra presente en agroecosistemas manejados por responsables con diferentes edades, escolaridad y disponibilidad de tierras, incluso en aquellos que no cuentan con suficientes tierras y tienen que rentar pastizales y acahuals durante todo el año en el peor de los casos para mantener a su ganado. Así mismo, la proyección de la sustentabilidad de los agroecosistemas a 20 años sin modificaciones en su estructura, funcionamiento, organización o prácticas de conservación de los recursos naturales, prevé una disminución de la sustentabilidad; así mismo, al proyectar acciones positivas en el manejo de los agroecosistemas, fundadas en la experiencia de los productores y el conocimiento de los especialistas, se pueden obtener incrementos de la sustentabilidad a mediano plazo. Sin embargo, la falta de descripción y cuantificación de interrelaciones no visibles entre los elementos del sistema en el modelo ocasiona tendencias similares de sustentabilidad en los diferentes escenarios de cada agroecosistema.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Conclusiones

Con base en el proceso de caracterización de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, al diseño del índice integrado de sustentabilidad de acuerdo a las condiciones locales, a la evaluación de la sustentabilidad y al empleo de modelaje para simular la sustentabilidad en dichos agroecosistemas en forma participativa, se realizan las siguientes conclusiones:

En cuanto al proceso de aprendizaje

El desarrollo del trabajo de tesis permitió la aplicación de conocimiento teórico obtenido en el proceso de formación del programa de agroecosistemas tropicales. De igual manera, brindó la posibilidad de avanzar hacia la transdisciplina, dado que el grupo de especialistas que conformó el equipo de trabajo pertenece a diferentes especializaciones dentro de las ciencias agrícolas, mismas que se integraron para focalizar, definir y operacionalizar los objetivos del trabajo, y a que los productores de las seis localidades de la microcuenca participaron en menor o mayor grado con los objetivos del proyecto. Así mismo, este proceso hizo posible desarrollar una metodología, misma que permitió el análisis integral de la sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca, bajo parámetros locales. También brindó la posibilidad de modelar y obtener escenarios de sustentabilidad sometiendo los agroecosistemas a diferentes modalidades de manejos.

En cuanto a los resultados obtenidos

Se concluye que existen tres tipos de agroecosistemas en la microcuenca estudiada con base en su estructura y funcionamiento, siendo mayor la tendencia a la ganadería; además, existen agroecosistemas simplificados que integran dos elementos y agroecosistemas que integran más de cuatro componentes; sin embargo, no existe un plan permanente de manejo de los elementos y es función principalmente del comportamiento de los factores ambientales cada ciclo agrícola y de la variación de los precios de los insumos. El principal problema que enfrentan los agroecosistemas es el desinterés de los herederos por continuar con la actividad agrícola, seguido de la falta de organización y capacitación de los productores de la microcuenca; el primero ocasionará la desaparición de los sistemas a corto y largo plazo, según las condiciones de edad y salud de quienes se encuentran actualmente controlando los agroecosistemas, mientras que el segundo y tercero son los principales factores limitantes para el desarrollo de una agricultura sustentable.

También se observó que la falta de prácticas para la conservación y recuperación de los recursos naturales ha disminuido el potencial productivo de los agroecosistemas y aumentado su vulnerabilidad; además, el bajo valor de la dimensión social se debe a la falta de organización, alta dependencia de programas de asistencia social y baja capacitación, y afecta el comportamiento de las dimensiones económica, ambiental y humana, así como al índice general de sustentabilidad; operativamente estas circunstancias dificultan crear e implementar estrategias comunitarias de desarrollo. Sin embargo, es urgente desarrollar dichas estrategias que consideren estos factores para hacer frente al agotamiento, uso excesivo y pérdida de los recursos naturales, para mejorar los niveles de ingreso por agricultura, e innovar mecanismos

para involucrar a los herederos de los agroecosistemas para desarrollar planes a largo plazo. Existe similitud en las dimensiones social, económica y humana en las seis localidades de la microcuenca; sin embargo, el CONAPO considera solo a cuatro de las seis con alta marginalidad, lo que podría repercutir en la focalización de recursos y posterior desarrollo para las dos localidades no consideradas como de alta marginalidad.

En cuanto a las teorías que explican o sustentan los hallazgos encontrados

Se aplican los tres enunciados básicos de la teoría general de sistemas propuesta por Von Bertalanffy (1968): 1) que los sistemas existen dentro de sistemas; los agroecosistemas estudiados forman parte de seis sistemas mayores que son las localidades en donde se ubican, y éstas a su vez forman parte de un sistema mayor que es la microcuenca, que pertenece a un municipio, posteriormente a una entidad federativa, a una cuenca hidrológica, a un país y a un continente; 2) que los sistemas son abiertos; existe una retroalimentación en energía, información y demás recursos entre los agroecosistemas y los sistemas mayores, lo que repercute en la estructura y funcionamiento que presentan los agroecosistemas; y 3) que la función de un sistema depende de su estructura; las diferentes estructuras que han adquirido los agroecosistemas han determinado su funcionamiento, se ha observado, según lo comentado por los productores, que los agroecosistemas eran más similares hace 20 años y por diferentes circunstancias han variado su estructura, dando como resultado que a la fecha presentes diferentes funcionamientos.

La dinámica de sistemas o sistemadinámica propuesta por Forrester (1961), brindó los elementos necesarios para abordar y explicar el fenómeno de estudio, toda vez que supone un

funcionamiento dinámico y complejo de los sistemas debido a la interacción entre sus elementos y con el exterior, desarrollando propiedades emergentes particulares y retroalimentaciones denominadas bucles, que pueden ser positivas o negativas. En este sentido, la presencia de bucles negativos dentro de los agroecosistemas y con el exterior ha permitido la permanencia de dichos sistemas, dado que cuando un sistema se encuentra dominado por un bucle positivo es poco estable, mientras que cuando es dominado por un bucle negativo tiende a ser estable. Además, propone que los sistemas cuentan con elementos clave que generan grandes cambios con mínimo esfuerzo, como es el caso de los cursos de capacitación, organización entre los responsables de los agroecosistemas de la microcuenca, y elementos críticos, los cuales son únicos en diferentes tiempos y ponen en riesgo el comportamiento y funcionamiento del sistema, como es el caso de la oscilación de los precios de los insumos, distribución de la precipitación en los ciclos agrícolas y presencia de desastres naturales.

Recomendaciones

Las recomendaciones que surgen del presente estudio se orientan en dos sentidos, el primero sobre el manejo de los agroecosistemas, y el segundo sobre el trabajo teórico y metodológico.

Primero:

- Existe una necesidad apremiante de orientar a los productores sobre la necesidad de implementar un esquema de organización bajo el enfoque de territorio o microcuenca, para lograr sinergias, cooperación y complementariedad entre las localidades.

- Acceder a cursos de capacitación, priorizando aspectos como motivación, autoestima, organización, prácticas agroecológicas, manejo de forraje, valor agregado a productos agropecuarios y canales de comercialización enfocados a consumidores finales, mediante comercio local y regional.
- Fomentar la organización de cooperativas o agroindustrias con mujeres y jóvenes desempleados de la microcuenca.
- Continuar con la evaluación periódica de los indicadores de sustentabilidad de los agroecosistemas, debido a que existen interacciones, efectos y factores externos que no se logra predecir, pero que afectan positiva o negativamente; por lo tanto, contar con la evaluación del desarrollo de los sistemas es necesario para optimizar esfuerzos y replantear las acciones de la estrategia.

Segundo:

- La estructura de la metodología contempla fases de intervención y reevaluación, por lo que es necesario llegar hasta dichas instancias con el objetivo de comprobar su funcionalidad.
- En el caso de la modelación, es necesario validar y fortalecer el modelo, dado que existe una gran oportunidad de mejorarlo. También, desarrollar o usar modelos existentes para representar fenómenos específicos, como erosión del suelo, comportamiento productivo de ganado y de cultivos, es necesario para evaluar anticipadamente las intervenciones.
- Así mismo, en las futuras modelaciones de los sistemas se debe incluir a más actores involucrados, como investigadores, autoridades y los herederos de los agroecosistemas; la consideración de estos últimos es especialmente importante para asegurar la permanencia

de los agroecosistemas y la continuidad de los procesos de vinculación-intervención que se están desarrollando a la fecha en la microcuenca.

Literatura citada

Forrester, J. W. 1961. Industrial dynamics. Pegasus communications. 479 p. ISBN 188383366

Von Bertalanffy, K. L. 1968. General systems theory: foundations, development, applications. New York. George Braziller.

Anexo 1. Dirección electrónica del modelo de simulación de sustentabilidad

El lector podrá visualizar el modelo de simulación de sustentabilidad y hacer corridas en el sitio <http://forio.com/simulate/luis/iasa-v1/>