



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE MANEJO DE SUELOS, EN AGROECOSISTEMAS CAMPESINOS DE CACALOXÚCHITL DE AYALA, HUAQUECHULA, PUEBLA

ANA KAREN REYES REYES

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2014



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

SUBDIRECCIÓN DE EDUCACIÓN

CAMPUE- 43-2-03

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

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **Ana Karen Reyes Reyes**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Ignacio Ocampo Fletes**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Evaluación de la sostenibilidad del sistema de manejo de suelos, en agroecosistemas campesinos de Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 29 de agosto del 2014.

Ana Karen Reyes Reyes
Nombre completo y Firma

Dr. Ignacio Ocampo Fletes
Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis
Nombre completo y Firma

La presente tesis, titulada: **Evaluación de la sostenibilidad del sistema de manejo de suelos, en agroecosistemas campesinos de Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla**, realizada por la alumna: **Ana Karen Reyes Reyes**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. IGNACIO OCAMPO FLETES

ASESOR:



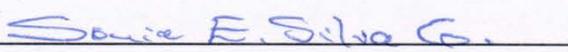
DR. ENGELBERTO SANDOVAL CASTRO

ASESOR:



DR. JUVENTINO OCAMPO MENDOZA

ASESORA:



DRA. SONIA EMILIA SILVA GÓMEZ

Puebla, Puebla, México, 2014

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA DE MANEJO DE SUELOS,
EN AGROECOSISTEMAS CAMPESINOS DE CACALOXÚCHITL DE AYALA,
HUAQUECHULA, PUEBLA

Ana Karen Reyes Reyes, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Actualmente enfrentamos problemas de deterioro de los ecosistemas, y de los servicios que éstos nos ofrecen, originados por la falta de planeación con enfoque de sostenibilidad. El conocimiento del estado de deterioro permitirá reorientar la forma de manejo, por lo que el objetivo de este estudio fue analizar el estado de sostenibilidad del sistema de manejo del suelo en tres agroecosistemas campesinos. La zona de estudio fue la comunidad de Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla, importante por su actividad agrícola. El estudio se abordó con el enfoque agroecológico considerando aspectos biofísicos, tecnológicos, socio-culturales y económicos, para evaluar el grado de conservación del suelo y las causas que lo originan. Se identificaron tres agroecosistemas con diferentes sistemas de manejo, diferenciados por el origen del agua de riego: con agua de pozo y con agua residual. Se seleccionaron tres cultivos (alfalfa, calabacita y gladiola) con diferente forma de manejo del suelo. Para cada tipo de riego se seleccionaron dos parcelas por cultivo, 12 en total, estudiando las prácticas que impactan al suelo; se realizaron análisis de suelo y agua y los resultados se compararon con las Normas Mexicanas NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y NOM-021-SEMARNAT-2000. La información socioeconómica se recopiló con una encuesta aplicada a 45 productores. Los resultados muestran que los cultivos de gladiola y calabacita por estar más vinculados al mercado requieren mayores volúmenes de insumos externos: semillas, agroquímicos y maquinaria, y mayor mano de obra para el manejo del suelo. Se concluye que en los agroecosistemas gladiola y calabacita se aplican más prácticas de origen agroindustrial causando pérdida de la sostenibilidad del sistema de manejo del suelo, en comparación al agroecosistema alfalfa con más prácticas campesinas, por lo que su estado de sostenibilidad en el manejo del suelo es mayor.

Palabras Clave: Agroecosistemas campesinos, manejo del suelo, sostenibilidad.

SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF SOIL MANAGEMENT SYSTEM IN
TRADITIONAL AGROECOSYSTEMS IN CACALOXÚCHITL DE AYALA,
HUAQUECHULA, PUEBLA

Ana Karen Reyes Reyes, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Today, we face problems of deterioration of ecosystems and the services they provide us, caused by the lack of planning with a focus on sustainability. The knowledge of decay will allow to reorient the management way, so the aim of this study was to analyze the state of sustainability of land management system in three traditional agroecosystems. The study area was the community of Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla, important for its agriculture. The study was discussed with the agroecological approach considering biophysical, technological, socio-cultural and economic aspects, to assess the degree of conservation of soil and the originating causes. We identified three agroecosystems with different management systems, differentiated by the source of irrigation water: well water and wastewater. Three crops (alfalfa, zucchini and gladiola) with different form of land management were selected. For each type of two plots per crop irrigation, 12 in total were selected by studying the practices that impact the soil; Soil and water analyzes were performed and the results were compared with Mexican Norms NOM-147-SEMARNAT / SSA1-2004 and NOM-021-SEMARNAT-2000. The socioeconomic information was collected with a survey of 45 producers. The results show that crops of gladiola and squash to be more linked to market require larger volumes of external inputs: seeds, agrochemicals and machinery and more labor for soil management. It is concluded that in the gladiola and squash agroecosystems use more agroindustrial practices causing loss of sustainable system soil management compared to alfalfa agroecosystem with more rural practices, so its state of sustainability of soil management is greater.

Key words: Soil management, sustainability, traditional agroecosystems.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Sr. Oscar Enrique Reyes Daniel y Sra. Silvia Reyes Bañuelos gracias a sus grandes esfuerzos que contribuyeron a que pudiera concluir mis estudio de postgrado. Gracias por creer en mí, gracias por apoyarme, aconsejarme, cuidarme y por su comprensión en todo momento. Los quiero y valoro mucho, y no hay día que no agradezca a Dios por tenerlos como padres.

A mi consejero particular, Doctor Ignacio Ocampo Fletes, agradezco mucho su apoyo, orientación y consejos durante mi estancia en la maestría, así como su dirección y sus aportaciones en la realización de este trabajo de investigación.

A los asesores de mi Consejo Particular, los Doctores: Engelberto Sandoval Castro, Juventino Ocampo Mendoza y la Doctora Sonia Emilia Silva Gómez. Les agradezco su apoyo y dedicación en la elaboración y revisión de esta investigación.

A los agricultores de Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla; gracias a aquellos productores con los que trabajé y que me facilitaron el trabajo en campo para realizar esta investigación, gracias por permitirme aprender de sus experiencias y compartirme su conocimiento.

Al Colegio de Posgraduados Campus Puebla y al CONACYT; gracias por el apoyo administrativo y por los recursos brindados para que se llevará a cabo este trabajo.

A todas aquellas personas que de manera directa e indirecta me apoyaron en el trabajo de campo; gracias a todos los que me brindaron su amistad, gracias por sus consejos y apoyo durante mis dos años de maestría.

CONTENIDO

Introducción.....	1
Capítulo I Planteamiento de la Investigación	4
1.1 Justificación.....	4
1.2 Problema de Investigación	6
1.3 Objetivos e Hipótesis.....	10
Capítulo II Marco de Referencia.....	11
2.1 Problemática del manejo del recurso suelo en sistemas agrícolas	11
2.2 Planteamientos para un mejor aprovechamiento del recurso suelo.....	18
2.3 Descripción del área de estudio	20
Capítulo III Marco Teórico	25
3.1 Desarrollo Sostenible	25
3.2 Teoría de Sistemas	30
3.3 Enfoque Agroecológico	34
3.3.1 Concepto y objetivos	34
3.3.2 Agroecosistemas: constitución y funcionamiento	38
3.3.3 Saberes campesinos	40
3.4 Agricultura industrial.....	43
3.4.1 Concepto y objetivos	43
3.4.2 Principios	44
3.4.3 Prácticas de manejo	44
3.5 Agricultura Sostenible	46
3.5.1 Concepto y objetivos	46
3.5.2 Principios	48
3.5.3 Prácticas de manejo	49
3.6 Manejo del recurso suelo	50
3.6.1 Manejo convencional del suelo.....	53
3.6.2 Manejo agroecológico del suelo	57
Capítulo IV Metodología	60
4.1 Caracterización del área de estudio.....	60
4.2 Técnicas de Investigación	63

4.2.1	Muestreo en campo	64
4.2.2	La encuesta	69
4.2.3	Observación directa.....	69
4.3	Indicadores.....	70
4.4	Organización y análisis de la información	72
Capítulo V Resultados.....		74
5.1	Características sociales y económicas de los productores	74
5.2	Recursos de la unidad familiar	76
5.3	Manejo de los agroecosistemas.....	80
5.3.1	Rotación de cultivos en la parcela	80
5.3.2	Manejo del suelo: insumos y prácticas	83
5.4	Percepción campesina sobre el recurso suelo.....	89
5.5	Análisis de suelo y agua.....	92
5.5.1	Propiedades físico-químicas del suelo	92
5.5.2	Relación de la contaminación del suelo con el agua de riego	103
Capítulo VI Discusión y Prueba de Hipótesis		106
Conclusiones y recomendaciones.....		121
Bibliografía		127
ANEXOS		144

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Nivel de degradación de suelos en México, 2002	13
Cuadro 2. Población de Cacaloxúchitl de Ayala.....	24
Cuadro 3. Agroecosistemas evaluados por sistema de riego	66
Cuadro 4. Indicadores para la evaluación de la sostenibilidad del suelo	71
Cuadro 5. Edad de los productores.....	74
Cuadro 6. Superficie (ha) sembrada por cultivo	77
Cuadro 7. Cultivos más rentables según los productores	80
Cuadro 8. Problemas en el manejo del suelo.....	87
Cuadro 9. Agroquímicos utilizados en los sistemas de producción.....	89
Cuadro 10. Macrofauna por parcela.....	92
Cuadro 11. Tiempo de infiltración.....	94
Cuadro 12. Análisis de calidad de suelos (1)	96
Cuadro 13. Análisis de calidad de suelos (2)	96
Cuadro 14. Parámetros químicos en suelo establecidos	97
Cuadro 15. Parámetros químicos en suelo establecidos	97
Cuadro 16. Concentración de referencias totales (CR _T) por tipo de uso de suelo ..	100
Cuadro 17. Concentración de metales pesados en suelo (mg/kg).....	101
Cuadro 18. Procedencia del agua de riego	103
Cuadro 19. Concentración de metales pesados en el agua de riego	104
Cuadro 20. Integración de los indicadores de sostenibilidad del sistema suelo	107
Cuadro 21. Calidad de suelo	114
Cuadro 22. Contaminantes presentes en suelo	114
Cuadro 23. Prácticas en los agroecosistemas	115
Cuadro 24. Cantidad de agroquímicos empleados por cultivo	116
Cuadro 25. Maquinaria empleada	117
Cuadro 26. Indicadores y calidad de suelo	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales tipos e suelo en México	15
Figura 2. Causas de degradación de suelos en México, 2002	16
Figura 3. Tipos de degradación del suelo en diferentes usos del suelo en México...	17
Figura 4. Triángulo Moebius para las tres dimensiones	35
Figura 5. Localización de la comunidad Cacaloxúchitl de Ayala	60
Figura 6. Clima en la zona de estudio	61
Figura 7. Tipo de suelo en la zona de estudio.....	62
Figura 8. Croquis de muestreo en las parcelas	67
Figura 9. Localización de las parcelas y de las fuentes de agua.....	68
Figura 10. Porcentaje de productores(as) por sexo, según cultivo.....	75
Figura 11. Estado civil de los productores(as), según cultivo.....	75
Figura 12. Nivel de escolaridad de los productores(as)	76
Figura 13. Estatus de tierras sembradas por cultivo	77
Figura 14. Procedencia del agua de riego.....	78
Figura 15. Porcentaje de productores que poseen animales	79
Figura 16. Cultivos y su demanda de trabajo	81
Figura 17. Razones por las que siembran los cultivos	82
Figura 18. Destino de la producción.....	82
Figura 19. Comercialización de los cultivos.....	83
Figura 20. Aspectos que complican el proceso de producción agrícola.....	84
Figura 21. Asesoría técnica recibida	85
Figura 22. Productores que contratan mano de obra	85
Figura 23. Maquinaria ocupada por cultivo	86
Figura 24. Insumos usados por cultivo.....	87
Figura 25. No. de agroquímicos utilizados por cultivo	88
Figura 26. Opinión sobre calidad del suelo	90
Figura 27. Opinión sobre calidad del suelo anteriormente	90
Figura 28. Razones por las que ha cambiado la calidad del suelo.....	91
Figura 29. Concentración de metales pesados en suelo.....	102
Figura 30. Estado de sostenibilidad del sistema suelo en los agrosistemas.....	111

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad que ejerce el hombre haciendo uso deliberado de la tierra para extraer bienes del suelo, es una actividad estratégica para cualquier sociedad que desea satisfacer sus necesidades alimenticias y oportunidades de mercado de otras especies. Por esta misma razón y dado el incremento de la población, enfrentamos mayor demanda de alimentos y productos que provienen del campo. La agricultura intensiva en uso de insumos resulta en incrementos significativos de la productividad, pero por otro lado, puede conducir a efectos negativos en el medioambiente. Uno de los grandes desafíos es elevar la productividad sin afectar el ambiente (Li, 2007).

El suelo es un recurso crítico, a escala humana no renovable, cuya condición es vital no sólo para la producción de alimentos, sino también para el balance global y funcionamiento de los ecosistemas. Este recurso es considerado frágil y no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo o, incluso, mejorar sus propiedades después de haber sido alterado (Doran *et al.*, 1994).

La degradación de los suelos, consecuencia de una agricultura con fines de cumplir las demandas de la población mundial, determinan la imperiosa necesidad de desarrollar sistemas agrícolas sustentables, que tengan la capacidad de mantener un nivel de producción en el largo plazo sin comprometer los componentes estructurales y funcionales (Zerbino, 2005). La gestión adecuada de los suelos, está relacionada al manejo de la cobertura y residuos vegetales, a la biodiversidad y rotación de cultivos, a la práctica de la fertilización y a los sistemas de labranza y riego (Nario *et al.*, 2001).

Consecuentemente, en el marco de la agricultura sostenible uno de los desafíos que los científicos enfrentan, es recuperar, mejorar y conservar la calidad del suelo; aquí radica la importancia de conocer el manejo de los suelos por parte de los agricultores. El manejo de este recurso en un agroecosistema responde a un

gran número de prácticas agrícolas, tecnologías que provienen de centros de investigación y del conocimiento acumulado por los productores. Lograr una caracterización de las prácticas utilizadas en los agroecosistemas, así como conocer sus condiciones, puede dirigir a un uso más acertado del recurso suelo (Fitz, 1993; USDA, 1994).

Por otro lado, es importante considerar que mantener la sostenibilidad de los sistemas de producción, depende fundamentalmente del mantenimiento de la productividad del suelo; para ello, el desarrollo, la restauración y mantenimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo depende en gran medida de la capacidad de reciclaje de los recursos orgánicos y de las actividades de la micro y meso fauna, deben ser favorecidos por las acciones de manejo que se realicen en los sistemas agrícolas (Gomero y Velásquez, 1999).

Con base en lo anterior y preocupados por avanzar hacia el camino de la sostenibilidad de los agroecosistemas campesinos, se realizó este trabajo de investigación con el objetivo de evaluar la sostenibilidad del manejo campesino del suelo en tres sistemas agrícolas con diferente intensidad productiva, para identificar las prácticas que provocan su pérdida de calidad y las posibles líneas estratégicas de mejora hacia su conservación.

La hipótesis que orientó el trabajo, fue que los sistemas de manejo campesino del suelo que emplean más prácticas agroindustriales, por ser más demandantes de agroquímicos y de maquinaria, han deteriorado en mayor grado el recurso suelo, mostrando menor sostenibilidad en relación a los sistemas de manejo que usan prácticas más tradicionales.

El trabajo se realizó en la comunidad de Cacaloxúchitl de Ayala, municipio de Huaquechula, Puebla, por sus condiciones climatológicas y edáficas junto con la disponibilidad de agua favorecen la actividad agrícola durante todo el año, características que identifican la región de Atlixco (Ocampo, 2004).

Con fines de presentación de la información, el documento está organizado en 6 capítulos. En el capítulo I, se reflexiona el planteamiento de la investigación resaltando la importancia del recurso suelo y la relevancia de abordarlo desde el enfoque de sostenibilidad; aquí se plantean los objetivos e hipótesis. En el capítulo II, se describe el marco de referencia en el que se analiza el estado del arte del recurso suelo y se puntualiza el área física donde se realizó el estudio. En el capítulo III, se exponen las bases teóricas del desarrollo sostenible, la teoría de sistemas, el enfoque agroecológico y la agricultura sostenible para analizar la sostenibilidad del manejo del suelo. En el capítulo IV, se describe la metodología, señalando los métodos, técnicas y herramientas utilizados para la generación, organización y análisis de la información.

En el capítulo V, se presentan los resultados del caso empírico; se describen las características de los productores y sus recursos, la forma de manejo de sus cultivos y la percepción que tienen respecto al manejo del suelo agrícola. Aspecto relevante son los resultados de los análisis del suelo y del agua. En el capítulo VI, se discuten los resultados a partir de las teorías y estudios realizados y se prueban las hipótesis planteadas. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones, se cita la bibliografía consultada y se presentan los anexos con información específica que sustenta los resultados.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Justificación

En una sociedad cada vez más concentrada en grandes urbes y alejada de la naturaleza, la importancia del recurso suelo suele perderse, situación que se ve reflejada en la ausencia de políticas y acciones públicas que atiendan el problema de la degradación de los suelos en nuestro país y en nuestro estado, a pesar de que la ONU a través del programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha declarado a la degradación de los suelos como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos (Tamariz *et al.*, 2008).

Cada región tiene un conjunto de condiciones climáticas y recursos naturales que interactúan con las relaciones económicas y las estructuras sociales, dando lugar a una gran variedad de agroecosistemas (Conway, 1990). En este sentido, los factores más importantes para establecer el grado o tipo de modificaciones de un agroecosistema son: (a) los factores ambientales (la disponibilidad de agua y la calidad del suelo), (b) los factores sociales (las preferencias y hábitos de alimentación) y, (c) los factores económicos (los precios de los productos y de los insumos). De ahí que los agroecosistemas también son definidos como sistemas integrados desde el punto de vista ambiental, económico y social, diseñados para la obtención de productos y servicios específicos, que tienen una estructura jerárquica medible en escalas temporal y espacial (Conway, 1990).

Desde los años 80's con el surgimiento del desarrollo sostenible, se busca hacer sostenibles los agroecosistemas; la perspectiva de la sostenibilidad agrícola, enfatiza en la necesidad de emplear una perspectiva sistémica (Conway, 1994; Maser *et al.*, 1999). Un agroecosistema sostenible debería ser capaz de mantener su productividad en condiciones de estrés; promover la calidad del medio ambiente y los recursos base de los cuales depende la agricultura; proveer las fibras y alimentos necesarios para el ser humano; ser económicamente viable y mejorar la calidad de

vida de los agricultores y la sociedad (Conway, 1994). El suelo es un recurso base para la agricultura; es un componente central de un agroecosistema, por lo que, para mantener su estado de sostenibilidad con prácticas que beneficien su estructura, fertilidad y calidad, es indispensable realizar estudios de sostenibilidad.

Sin embargo, la degradación del suelo está aumentando en muchas partes del mundo, con más del 20 % de las tierras agrícolas afectadas, el 30 % de los bosques y el 10 % de los pastizales (FAO, 2008). En México se reporta que el 64 % de los suelos presenta diferente grado de deterioro y sólo el 36 % no presenta degradación aparente y mantiene actividades productivas sustentables (SIAP, 2012).

Se considera que independientemente de la dinámica productiva, el grado de deterioro del suelo está vinculada a la forma de manejo que se dé a éste. Ejemplo de ello, es la región de Atlixco, Puebla, que tiene una dinámica productiva intensiva. Estudios realizados por Ocampo (2004) muestran el potencial de la región, encontrando un mosaico de plantas entre hortalizas, aromáticas, flores, forrajes, cultivos básicos y frutales; no obstante, se ejerce una presión sobre los recursos naturales, específicamente suelo y agua, por ser un agroecosistema muy ligado a la producción de productos para el mercado. El mismo autor señala que con la forma de manejo que se daba a la tierra hasta hace unos 10 años, permitía usar el suelo en forma intensiva, llegando a duplicar la cantidad de superficie física.

En la región de Atlixco el suelo es sometido a ciclos agrícolas bastante dinámicos, donde difícilmente podremos encontrar tierras que se dediquen a un solo cultivo. La información presentada denota la importancia de conocer cómo es que están siendo manejados los recursos en estos sistemas, específicamente el sistema de manejo del recurso suelo ante una actividad agrícola tan diversa y productiva, que permita entender su estado de sostenibilidad y la posibilidad de incorporar prácticas más amigables con el manejo del suelo.

1.2 Problema de Investigación

Actualmente nos enfrentamos a un serio problema de deterioro en los ecosistemas naturales, así como en los servicios que estos nos ofrecen. Debido a la falta de planeación con una visión de sostenibilidad, procesos sociales, económicos y ambientales han generado impactos severos en la naturaleza (Carabias, 2002:258).

En la medida en que la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología se contrapuso consiguiendo que los principios ecológicos fueran ignorados y/o sobrepasados. De hecho, muchos científicos agrícolas han llegado al consenso de que la agricultura moderna confronta una crisis ambiental. Existe preocupación por la sostenibilidad a largo plazo de los actuales sistemas de producción de alimentos. Se ha acumulado evidencia que muestra que cuando el actual sistema agrícola intensivo de capital y tecnología ha sido extremadamente productivo y competitivo, éste también trae consigo una serie de problemas económicos, sociales y ambientales (Conway y Pretty, 1991).

La tendencia de desarrollo de los agroecosistemas se ha polarizado en función de sus objetivos: en un extremo están los agroecosistemas "modernos", que requieren altos volúmenes de insumos y cuya producción satisface los mercados. En el otro están los sistemas de subsistencia, manejados con tecnología tradicional, que satisfacen las necesidades locales. En los primeros se hace una transformación radical del ecosistema natural y en los segundos, se conservan algunas de las características de estructura y función de los ecosistemas originales. Esta polarización ha provocado un dilema de uso y manejo de los recursos naturales debido a los efectos a corto, mediano y largo plazo de ambos extremos (Ramos, 1996).

Altieri (2002:288) señala que es de suma importancia entender que:

- a) “La maximización de los rendimientos y de la rentabilidad no se puede lograr sin considerar los límites ecológicos de producción, ni tampoco la equidad, en la distribución de los beneficios de la producción entre los que participan en el proceso de producción y consumo.
- b) Los problemas de la sostenibilidad no se pueden considerar aisladamente ya que los sistemas de producción están ligados no solo a condiciones e instituciones locales, sino que también responden a presiones económicas y de mercado a los niveles nacional y global.
- c) No será posible continuar realizando análisis económicos que excluyan el valor de los cambios de productividad o de las externalidades asociadas, a la intensificación agrícola. Ignorar los costos ambientales “ocultos” solo sobrevalora las prácticas agrícolas degradantes y subestima el valor de prácticas agroecológicas que conservan recursos.
- d) Las políticas agrícolas que ignoran la productividad y la calidad de los recursos naturales contribuyen a disminuir la sustentabilidad y a causar pérdidas económicas significativas, cuando se incluyen los costos de la degradación ambiental en el cálculo de la rentabilidad agrícola, las prácticas agroecológicas se perfilan competitivas con las de corte convencional”.

Por otra parte la crisis del sector agrícola mexicano, el desencadenamiento del sector agroindustrial y la dependencia alimentaria, tiene efectos negativos en el desarrollo rural y debilitan la seguridad y soberanía alimentaria. Es por esto que este sector debe mantener su actividad enfocada a una visión sustentable buscando la forma de cumplir con el abasto de alimentos y materias primas (Rivera, 2011). Por ello, debe verse que hay estilos de manejo con cultura social y ecológica propia que ha enriquecido la agricultura con prácticas tradicionales de manejo racional y la interacción de la diversidad ambiental; que ha logrado la producción de alimentos de autoconsumo y para el mercado local y regional, además de generar ingresos y autoempleo (Martínez, 2000:415). Esta forma de manejo sólo prevalece en grupos sociales, que a través de un proceso de coevolución, han logrado prácticas

tradicionales, ambiental y socialmente no degradantes. El hombre interpreta la naturaleza y trata de convivir con ella, buscando un manejo del agua (y sus demás recursos) dentro de la racionalidad (Ocampo, 2004:10).

De manera más frecuente se observan problemas como sequias, plagas, tierras infértiles, etc. factores que complican el manejo adecuado de los recursos utilizados en el agroecosistema. Ejemplo de ello es que el hombre con objeto de proteger los cultivos frente al efecto de múltiples organismos vivos (insectos, hongos, nematodos, malas hierbas, etc.) y aumentar la producción, desde hace décadas ha usado productos fitosanitarios como plaguicidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes. Éstos son absorbidos por las plantas o sufren procesos de adsorción, volatilización, lavado y degradación biótica y abiótica en el suelo que conducen a la formación de nuevos productos, en ocasiones más móviles, persistentes y más peligrosos que los compuestos de partida (Porta *et al.*, 2003), que son susceptibles de contaminar los suelos, las aguas y pasar a la cadena trófica.

La acumulación de productos contaminantes en el suelo disminuye su calidad y consecuentemente la producción, por lo que es muy importante conocer el sistema de manejo de suelos en la producción agrícola con una visión sostenible. Perales (2009) comenta que han sido poco los esfuerzos para evaluar que tan sostenible son los sistemas de manejo de los suelos en la producción agrícola.

A pesar de la importancia socio económica, el suelo no ha tenido la atención necesaria, por el contrario tanto la presión demográfica y las diversas actividades que se realizan sobre este recurso, han acelerado su degradación física, química y biológica, con consecuencias sociales y económicas negativas, tales como, la reducción de la productividad, la pérdida de ingresos, el desplazamiento de familias a las ciudades, la pérdida de valores culturales, el aumento de la vulnerabilidad de la población a conflictos sociopolíticos y armados (Nario *et al.*, 2001).

La gestión de la calidad del suelo en un agroecosistema, responde a un gran número de prácticas agrícolas, tecnologías que vienen de un conocimiento acumulado por generaciones. La caracterización de estas tecnologías en cada agroecosistema, y la determinación de las características más importantes del terreno es una preocupación del usuario para poder usar con más acierto el preciado recurso suelo (Fitz, 1993), y representa un elemento importante para entender las lógicas de manejo del suelo que influyen en su calidad y es un medio para analizar el funcionamiento de un determinado sistema de producción (Altieri y Nicholls, 2007).

Tratando de entender la dinámica productiva de los agroecosistemas y la presión que se ejerce al recurso suelo, se seleccionó la región de Atlixco, por las características climatológicas que permiten la producción de cultivos todo el año. En la región se identifican dos períodos productivos: de enero a mayo, época de menor disponibilidad de agua, y de junio a diciembre época de mayor cantidad de agua (de lluvia y superficial) (Ocampo, 2004). Por la disponibilidad de recursos naturales (agua y suelo) asociado a un buen clima, los sistemas agrícolas están envueltos en dinámicas de producción mediante los cuales se pueden encontrar agroecosistemas que manejan un gran número de cultivos en el ciclo agrícola, situación que puede comprometer el estado de dichos recursos, sobre todo el manejo intensivo del suelo a través de prácticas que ponen en riesgo la preservación del recurso.

Considerando la dinámica productiva de los agroecosistemas de la región de Atlixco y la presión que se ejerce en sus recursos, nos cuestionamos ¿Qué prácticas conforman el sistema de manejo del suelo y qué efectos tienen sobre el mismo?; ¿Cómo son las interacciones entre los componentes del recurso y qué propiedades deben mantenerse?; ¿En qué estado de sostenibilidad se encuentra? ¿Cómo podemos optimizar el manejo de este recurso desde una perspectiva de sostenibilidad?

1.3 Objetivos e Hipótesis

Objetivo General:

Evaluar la sostenibilidad del manejo campesino del suelo en tres sistemas agrícolas con diferente intensidad productiva, para identificar las prácticas que provocan su pérdida de calidad y las posibles líneas estratégicas de mejora hacia su conservación.

Objetivos Específicos:

1. Determinar el grado de sostenibilidad del manejo del suelo a través de indicadores de calidad, estado de cultivo y aspectos socio-económicos.
2. Identificar las prácticas de manejo que provocan la pérdida de calidad y el uso menos sostenible del suelo.
3. Caracterizar los sistemas de manejo del suelo con base en las prácticas que realizan los productores durante el proceso productivo.

Hipótesis General:

Los sistemas de manejo campesino del suelo que emplean más prácticas agroindustriales, por ser más demandantes de agroquímicos y de maquinaria, han deteriorado en mayor grado el recurso suelo, mostrando menor sostenibilidad en relación a los sistemas de manejo que usan prácticas más tradicionales.

Hipótesis Específicas:

1. Los sistemas agrícolas con manejo agroindustrial son los que más daños presentan en su recurso suelo, por lo que su manejo es menos sostenible.
2. Las prácticas que provocan la pérdida de calidad del suelo, son: la aplicación de agroquímicos, el uso de maquinaria, el riego con agua de baja calidad y la intensidad en el manejo del suelo.

CAPÍTULO II MARCO DE REFERENCIA

Con el objeto de contextualizar la situación del recurso suelo, en este apartado se realiza un análisis de la problemática global y nacional del suelo de uso agrícola y los planteamientos para un mejor manejo, así como las características del área objeto de estudio.

2.1 Problemática del manejo del recurso suelo en sistemas agrícolas

El suelo es un sistema auto-organizado y heterogéneo que posee una gran complejidad estructural y funcional, debido a la gran diversidad de sus componentes (abióticos y bióticos), y a los procesos que tienen lugar en su seno. Como todo sistema, evoluciona en el tiempo condicionado por factores ambientales que están presentes en un escenario concreto y en general, en los suelos de cultivo, mantiene una dinámica determinada por un sistema de uso impuesto por condicionantes socioeconómicas y culturales (Labrador, 2008).

Gascó (1998) lo define como “un ente natural que se forma mediante procesos de alteración de los minerales meteorizables, evolución de las materias orgánicas humificables, estructuración de las partículas agregables y migración de algunos componentes finos o de iones desplazables. En definitiva, un medio vivo y dinámico, en el cual se libra un diálogo biológico complejo entre plantas, organismos y el medio mineral que los acoge.

Este recurso es el cuerpo natural que sostiene la vida, elemento esencial para el desarrollo de plantas, árboles y cultivos agrícolas, ya que brinda soporte, aporta nutrientes, almacena el agua que requieren las plantas para su desarrollo y actúa como filtro de contaminantes que produce el hombre. Constituye uno de los recursos naturales que se caracterizan por su gran heterogeneidad, lo que les posibilita cumplir con una diversidad de funciones vitales para el sostenimiento de los ecosistemas y de la vida humana (Tamariz *et al.*, 2008).

El rápido crecimiento de la población mundial, con mayores demandas de alimentos, agua y servicios, provoca mayores influencias del hombre sobre el suelo, a través de la expansión y de la intensificación de actividades agrícolas como el crecimiento de áreas pobladas e infraestructuras asociadas. Se estima que a lo largo de la historia una tercera parte a la mitad de la superficie ha sido transformada por actividades humanas, en especial a través de la agricultura. La principal consecuencia es un descenso en las limitadas reservas de tierras arables, incrementando los desarrollos agrícolas en nuevas tierras con climas y topografía menos favorables (Pla, 2008).

El resultado, aparte de la degradación de suelos y tierra, y asociado a ella, es un descenso en la disponibilidad de agua de buena calidad para cubrir necesidades agrícolas, urbanas e industriales, y un descenso en la diversidad biológica. A nivel mundial, estos problemas pueden conducir a consecuencias dramáticas ambientales, sociales y económicas, que en países pobres en desarrollo se manifiestan a través de descensos en la producción de alimentos, incremento en la pobreza y aumento de la migración. También basados en los procesos de degradación de suelos y tierras y en los cambios hidrológicos asociados, se incrementan los riesgos y problemas de sequía (conducentes a procesos de desertificación), y de desastres “naturales” como inundaciones, deslizamientos de tierras, sedimentaciones, etc. (Pla, 2008).

Definida como el declive a largo plazo en la función y la productividad de un ecosistema, la degradación del suelo está aumentando en severidad y extensión en muchas partes del mundo, más del 20 % de las tierras agrícolas afectadas, el 30 % de los bosques y el 10 % de los pastizales (FAO, 2008).

Cerca de 1,500 millones de personas, un cuarto de la población mundial, dependen directamente de suelos sujetos a degradación. Las consecuencias de este fenómeno incluyen una disminución de la productividad agrícola, la migración, la inseguridad alimentara, los daños a recursos y ecosistemas básicos, y la pérdida de

biodiversidad debido a cambios en los hábitat tanto a nivel de las especies como a nivel genético (FAO, 2008).

Debido a la importancia económica, política y social de la degradación del suelo, tanto en México como en el mundo se han realizado diversos estudios para evaluar la magnitud de la superficie afectada, así como el tipo y grado de afectación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Nivel de degradación de suelos en México, 2002

Nivel de degradación ¹	Superficie (miles de ha)	Contribución (%)
Ligera	43,606.41	22.8
Moderada	38,164.08	20.0
Fuerte	2,666.42	1.4
Extrema	1,299.20	0.7
Sin degradación aparente	105,194.4595	55.1
Notas: ¹ El nivel de afectación de la degradación del suelo se evaluó en términos de la reducción de la productividad biológica de los terrenos, considerando cuatro niveles: Ligera: Terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas locales que presentan alguna reducción apenas perceptible en su productividad. Moderada: Terrenos aptos para sistemas forestales, pecuarios y agrícolas locales que presentan una marcada reducción en su productividad. Fuerte: Terrenos a nivel de predio o de granja, tienen una degradación tan severa que se pueden considerar con productividad irrecuperable a menos que se realicen grandes trabajos de ingeniería para su restauración. Extrema: La productividad de los terrenos es irrecuperable y su restauración materialmente imposible.		

Fuente: SEMARNAT y Colegio de Postgraduados. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

Históricamente, el aumento de producción agrícola se ha logrado por expansión del área cultivada y por incrementos en los rendimientos por unidad de cultivo. Hasta la década de los cincuenta la expansión de la superficie cultivada desempeñaba un papel más importante en el aumento de producción. En cambio, las décadas de los sesenta y setenta se caracterizan por el hecho de que la intensificación de los cultivos por unidad de superficie pasó a ser, paulatinamente, el factor principal en los aumentos de producción. Se estima que la contribución de la

intensificación de los aumentos de la producción agrícola mundial es del orden del 80 % (FAO, 2000).

La diversidad de suelos en México da origen y sustento a una gran biodiversidad, desafortunadamente el 64 % de ellos presenta diferente grado de deterioro y sólo el 36 % no presenta degradación aparente y mantiene actividades productivas sustentables (SIAP, 2012).

México cuenta con una superficie territorial de 198 millones de hectáreas. El 14 % es clasificado como superficie de labor, de éstas de acuerdo con el SIAP (2012), se siembra en una superficie aproximada de 22 millones de ha. 75 % de la superficie sembrada corresponde a la modalidad de temporal y el 25 % a riego. Adicionalmente, el 72 % de la superficie sembrada corresponde a cultivos anuales o cíclicos y el 28 % a cultivos perennes. De los cultivos cíclicos, el 76 % se realiza en el ciclo Primavera/Verano y el 24 % en Otoño/Invierno.

Ante esta variabilidad en el territorio nacional, existen diferentes formas de manejar el recurso suelo, las cuales pueden comprometer su conservación y producción, situación que debe atenderse urgentemente para frenar los grandes problemas de deterioro de los recursos naturales. Desde la década de 1950 la problemática de la degradación del suelo agrícola a partir del manejo inadecuado del recurso, se instala como objeto de estudio en las Ciencias Agronómicas (Villareal *et al.*, 2004).

Comprender la importancia del suelo para el desarrollo sustentable de las sociedades, pasa por entender en qué consiste y cómo funciona este recurso. Es reconocido como sostén y sustento de cultivos y bosques, como medio que posibilita el filtrado del agua y su recarga, como soporte de la biodiversidad, y en general, como patrimonio nacional. Pero el suelo, como componente del ecosistema, se encuentra afectado por todas las actividades productivas, realizadas por actores individuales como por los distintos órdenes de gobierno, generando impactos

negativos tanto para los usuarios particulares y para la sociedad en general, lo cual aumenta la complejidad de su estudio y de su gestión (Tamariz *et al.*, 2008).

El suelo es considerado un recurso natural frágil y no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo o, incluso, mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado por las fuerzas abrasivas del agua y el viento o deteriorado física o químicamente. Dado el desarrollo geológico en México se presentan los principales grupos de suelos según la FAO (Figura 1). La frecuencia con la que se dan los cambios de uso de suelo depende del tipo de sustrato y del uso futuro que se le dará al terreno. La proporción de feozems, vertisoles o cambisoles empleados en la agricultura, es superior a la media nacional para otros suelos, mientras que los leptosoles, regosoles y calcisoles son utilizados con menor frecuencia. Sin embargo, no siempre ocurre así, también es evidente el efecto de las dinámicas y características regionales (Tamariz *et al.*, 2008).

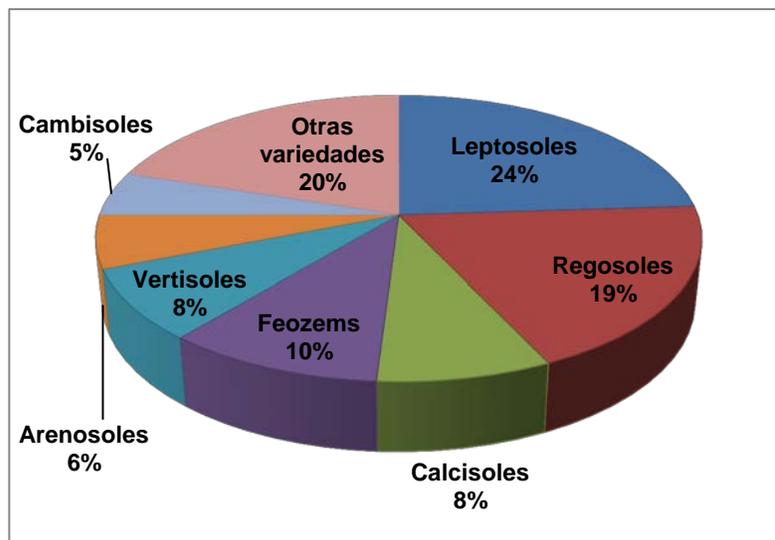


Figura 1. Principales tipos de suelo en México

Fuente: Elaborado por el investigador a partir de datos de SEMARNAT, 2003.

Causas del deterioro de los suelos están estrechamente relacionadas con las actividades agrícolas (Figura 2), vía la utilización de prácticas de producción inadecuadas tales como la aplicación excesiva de riego, la quema de residuos de

cosecha, el exceso de labranza y la falta de prácticas de conservación de suelo y agua.

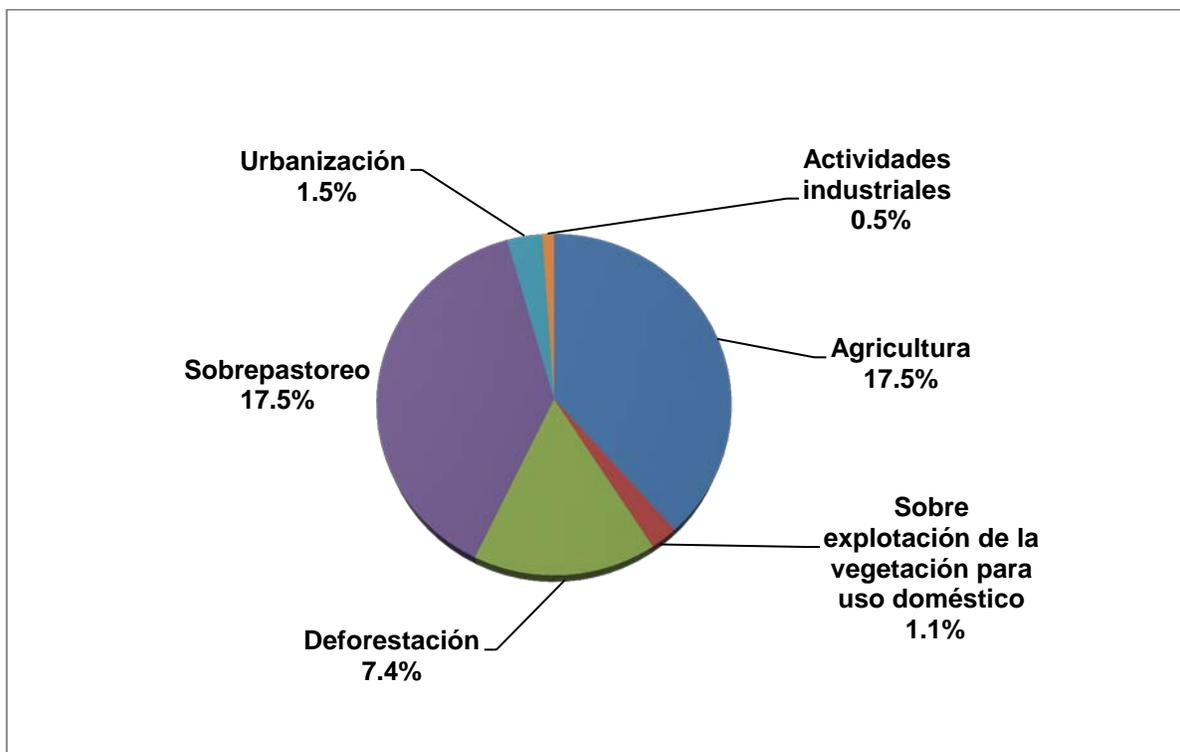


Figura 2. Causas de degradación de suelos en México, 2002

Fuente: SEMARNAT-Colegio de Postgraduados. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México. 2003.

De la superficie nacional dedicada a uso agrícola, pecuario y forestal, son 31 hectáreas aproximadamente las que se encuentran afectadas por algún tipo específico de degradación, siendo la química, en su calidad de pérdida de la fertilidad, el tipo dominante (Figura 3). Esto podría deberse a que el cambio de uso del suelo al que se sometieron los terrenos que sostenían la vegetación natural se hizo sin considerar su potencial agrícola, lo cual pudo provocar el agotamiento de los nutrimentos (SEMARNAT, 2012).

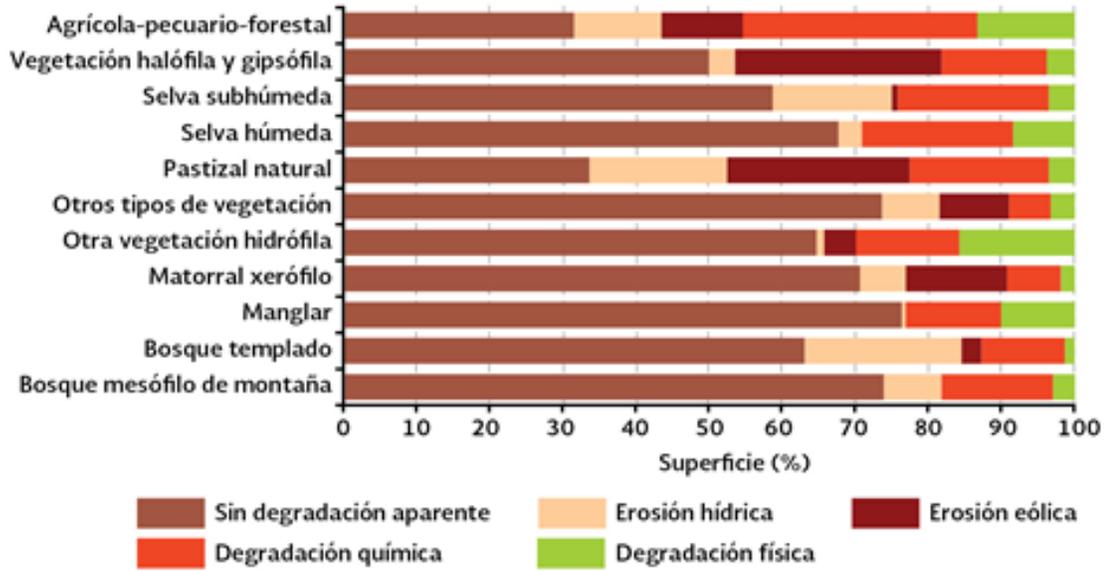


Figura 3. Tipos de degradación del suelo en diferentes usos del suelo en México

Fuente: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012.

Es evidente que el manejo inadecuado de nuestros recursos compromete su funcionamiento y los servicios que éstos nos proveen, en el caso del suelo son diversos los factores que pueden degradarlo. En el caso de la agricultura, como se ha explicado, el uso no óptimo de productos químicos y las actividades realizadas sin saber sus consecuencias, son dos puntos clave para poder orientar el manejo de este recurso hacia un camino donde se siga produciendo sin limitar la capacidad de este recurso, ni llevarlo a un mayor deterioro.

Para hacer frente al deterioro de los recursos naturales, sin duda la mejor alternativa es hacer un manejo con enfoque de sostenibilidad, el cual, además de la satisfacción de las necesidades humanas, implica un equilibrio ambiental. Sin embargo, hacerlo realidad y llevarlo a la práctica no es fácil, ya que además del componente ambiental, existen una serie de factores sociales, económicos y políticos que hacen difícil eliminar las causas socioeconómicas que promueven la degradación de los suelos (SEMARNAT, 2012).

2.2 Planteamientos para un mejor aprovechamiento del recurso suelo

La sustentabilidad, en el contexto de la producción agrícola-ganadera, implica preservar y mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental así como la calidad y la cantidad de los recursos renovables y no renovables, incluidos en el sistema productivo (suelo, agua, aire, biodiversidad y otros) (García, 2012). La sustentabilidad en la agricultura, si bien ha recibido diversas interpretaciones, todas ellas parecen reconocer que uno de los objetivos de la misma es conservar el factor de producción máspreciado: la tierra.

El suelo comúnmente es considerado un elemento que compone el proceso de producción agropecuaria, es decir, parte de un sistema complejo. Por esta particularidad, como elemento y como sistema propio, por lo general, cobra importancia como componente de otro sistema y no como sistema en sí mismo. Esta situación permitiría afirmar que socialmente este recurso es “puesto en valor” sólo en la medida en que se encuentre formando parte de este sistema mayor y no es analizado como un sistema en sí mismo. Sin embargo, el suelo presenta ciertas particularidades que ameritan prestar especial atención al momento de considerarlo para su estudio, especialmente en cuanto a sus componentes y a la importancia de la interacción de éstos (Villareal *et al.*, 2004).

Destaca el suelo, como un recurso finito no renovable. Debe proveer un medio para el crecimiento de las plantas, regular y distribuir el flujo de agua en el ambiente y servir como un buffer ambiental en la formación, atenuación y degradación de compuestos ambientales peligrosos. La calidad del suelo se ha definido en términos de sus propiedades químicas, físicas y biológicas (García, 2012).

La materia orgánica (MO) está reconocida como la más importante por ser un indicador de la calidad de suelo. Es considerada la fracción viva integrada por compuestos que conforman la vida orgánica del suelo, excluyendo residuos vegetales y animales sin descomponer, y entre sus elementos constituidos se hallan

los residuos vegetales y animales en descomposición (10-20 %), la biomasa microbiana (1-5 %) y el humus (50-85 %). La importancia de la materia orgánica radica en su relación con numerosas propiedades del suelo (García, 2012).

El contenido de materia orgánica de los suelos está determinado por los factores formadores del mismo (tiempo, clima, vegetación, material madre, topografía, manejo). El manejo del suelo, afecta el contenido de materia orgánica según: el número de años de agricultura, los cultivos, las labranzas, las rotaciones, el manejo del cultivo, la fertilización y los períodos de barbecho (García, 2012).

El uso de sistemas de siembra directa, la rotación de cultivos, el mantenimiento y la generación de adecuados niveles de fertilidad de los suelos permite estabilizar los contenidos de materia orgánica ajustados a las condiciones edafoclimáticas del sitio, a través de la incorporación de residuos en cantidad y calidad. La no remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie bajo siembra directa resultan en un mayor contenido de materia orgánica en las capas superficiales del suelo, respecto a situaciones similares bajo labranza convencional con remoción. Este efecto se explica por la menor oxidación de los residuos aportados, la menor erosión y, eventualmente, por una mayor producción de residuos, bajo siembra directa, debido a la mayor producción de materia seca que bajo labranza convencional (García, 2012).

El manejo físico del suelo implica optimizar, en la zona de las raíces de las plantas, las propiedades físicas, tales como: estructura, porosidad, infiltración, retención de agua, entre otras, que son importantes para el manejo sustentable del recurso. Los métodos agrícolas de producción de cultivos se han concentrado en la labranza intensiva, suministro de insumos externos como estrategia para incrementar la fertilidad del suelo y rendimiento de la cosecha. Sin embargo, las consecuencias de la labranza intensiva son la compactación del suelo, pérdida de la biodiversidad, contaminación del suelo y el agua por el uso excesivo de agroquímicos, así como el incremento de la erosión. Por el contrario, la labranza de conservación es un

esquema de producción de cultivo, diferente a los métodos convencionales y una alternativa de manejo productivo del suelo. Sus principales ventajas son: aumentar el contenido de materia orgánica en la superficie del suelo, coadyuvar a la estabilidad estructural, incrementar la retención de agua, y reducir el escurrimiento y producción de sedimentos. Lo anterior promueve aumento en la calidad física de los suelos agrícolas y del ambiente en general (Gregorich y Carter, 1997).

Por otro lado, el suelo se sigue viendo como un soporte del cultivo y no como el medio donde reside una enorme variedad de macro y micro flora y fauna que junto con el agua, el aire y la temperatura contribuyen a mineralizar y solubilizar todos los nutrientes, lo cual no solo participa en el aumento del rendimiento y la calidad sino que actúan como antagonistas de organismos dañinos favoreciendo la salud de los cultivos.

El suelo debe verse como un organismo vivo y para mantenerlo como tal, se precisa un aporte constante de materia orgánica tanto de origen animal como vegetal, éste debe ser un objetivo prioritario y permanente en todo el proceso de iniciación/conversión y una de las tareas principales es garantizar un suministro persistente de materia orgánica.

Por último, y no menos importante es la conversión personal. Se requiere un cambio de actitud, pensar que nos vamos a meter en una agricultura de procesos, de evolución en el tiempo, en la que el insumo principal es la perseverancia, la paciencia, la observación, es decir, procesar toda la información que el entorno y el suelo nos da y tener la capacidad de interrelacionarlo todo, buscando siempre las causas y el por qué suceden las cosas y no atacando los síntomas (Guanche, 2012).

2.3 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Huaquechula del estado de Puebla, ubicado entre los paralelos 18° 39' y 18° 52' de latitud norte y entre los meridianos

98° 22' y 98° 41' de longitud oeste, con una altitud entre 1,200 y 2,100 m. Colinda al norte con los municipios de Atzitzihuacán y Atlixco; al este con los municipios de Atlixco, San Diego la Mesa Tochimiltzingo y Tepeojuma; al sur con los municipios de Tepeojuma, Tlapanala y Tepexco; al oeste con los municipios de Tepexco, Acteopan, Tepemaxalco y Atzitzihuacán. Ocupa el 0.68 % de la superficie del estado. Este municipio cuenta con 56 localidades (INEGI, 2009).

Por su configuración y ubicación geográfica, el municipio pertenece a la región hidrológica del Balsas, a la cuenca del río Atoyac y a la subcuenca del río Nexapa. Es atravesado por ríos que descienden de la Sierra Nevada, destacando el río Grande, Ahuehuello, Matadero, Atila y Nexapa (INEGI, 2009).

El rango de temperatura oscila entre los 18 y los 24°C, la precipitación de 800 a los 1,100 mm. Se presentan diferentes tipos de climas: semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (52 %), semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (29 %), cálido subhúmedo con lluvias en verano (15 %) y templado subhúmedo con lluvias en verano (4 %) (INEGI, 2009).

De las 56 comunidades, algunas son más favorecidas por agua subterránea extraída por sistemas de bombeo, como es el caso de Cacaloxúchitl de Ayala, donde se realizó la investigación. En la comunidad existen diferentes fuentes de agua para riego: subterránea (agua de pozo), superficial (agua rodada) y combinado. Se localizan una presa llamada Maximiliano González, que inició a operar el 26 de agosto del año 1991, y una represa (Fotos 1 y 2). La comunidad cuenta con 8 pozos para riego y dos pozos para agua potable.



Fuente: Reyes, A. K., 2013.

Orografía

La topografía es plana con presencia de algunos cerros, se ha perdido parte de su vegetación original, solo se conservan las áreas comunales, se encuentran pequeñas áreas de pastizal inducido. En la sección sur de la comunidad de Cacaloxúchitl de Ayala se localizan tres cerros (Fotos 3, 4 y 5): 1) Cerro Gordo: Divide Cacaloxúchitl de Ayala de la Colonia Soto y Gama, donde también se encuentra la capillita de la Virgen de Guadalupe; 2) Cerro Colorado y, 3) Cerro Cacaloxúchitl de Ayala.



Fuente: Presidencia de Cacaloxúchitl de Ayala.

Clasificación y uso de suelo

De acuerdo con el INEGI (2010), en Huaquechula el uso de suelo se encuentra dividido en 2 sectores: agricultura (64 %) y zona urbana (2 %), con respecto a la vegetación se encuentra: selva (18 %), bosque (7 %), otro (5 %) y pastizal (4 %). El uso potencial de la tierra abarca las siguientes áreas: Para la agricultura mecanizada continua (63 %), no apta para la agricultura (37 %), para el establecimiento de praderas cultivadas con maquinaria agrícola (63 %), para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal (11 %), para el aprovechamiento de la vegetación natural únicamente por el ganado caprino (19 %) y no apta para uso pecuario (7 %).

Cacaloxúchitl de Ayala en vísperas de la Revolución contaba con 420 hectáreas, dedicadas al cultivo de maíz, frijol y cacahuate con cosechas anuales. En voz de los ancianos se dice que el pueblo no es ni la mitad de lo que antes fue respecto a la producción de frutales en sus huertas. Narran que por los años cincuenta, las huertas del lugar estaban diversificadas de árboles frutales como: guaje (*Leucaena leucocephala*), limón (*Citrus limón*), mandarina (*Citrus tangerina*), naranja (*Citrus sinensis*), aguacate (*Persea americana*), tuna (*Opuntia ficus-indica*), entre otros. Aún algunas personas tienen sus pequeñas huertas en los cerros o en sus casas.

Respecto al uso agrícola actual, existen cultivos de temporal y de riego (agua superficial y subterránea); los pozos profundos tiene una profundidad mayor a 30 metros, y se siembran cultivos anuales, principalmente: maíz, frijol, sorgo, cacahuate, chíca, jícama, camote, garbanzo y alfalfa; diferentes hortalizas: calabacita, cebolla, pepino, jitomate, tomate, cilantro, ejote, etc., y diferentes especies de flores, principalmente gladiola. Últimamente se produce jitomate bajo invernadero.

Población

La población ha ido cambiando; sin embargo con respecto a años anteriores no representa un aumento (Cuadro 2). De acuerdo con el Censo de INEGI 2010, la población femenina es del 54 % de la población total, y la población masculina ocupa el 46 %.

Cuadro 2. Población de Cacaloxúchitl de Ayala

Año	Habitantes
1990	3113
1995	3064
2000	3375
2005	3843
2010	3021

Fuente: INEGI (1990, 1995, 2000, 2005, 2010)

Actividades económicas

Las actividades económicas, son: a) Agricultura: siembra sorgo, maíz, frijol, calabacita, alfalfa, jícama, tomate, cacahuate, garbanzo, flores, entre otros; b) se encuentran tiendas de abarrotes, talleres de reparación mecánica y de bicicletas así como de algunas fondas y veterinarias, y c) existe un mercado que concentra a los comerciantes de la localidad y otras cercanas. Algunos productos que venden son: carne, fruta, verdura, zapatos, ropa, etc.

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

El presente trabajo se analizó con el enfoque agroecológico en el marco del desarrollo sostenible y la agricultura sostenible, que toma como base el estudio de la forma de manejo de los recursos naturales, para el caso estudiado el sistema de manejo del suelo como base para la sostenibilidad. Por ello, se consideraran elementos del desarrollo sostenible, la teoría de sistemas, el enfoque agroecológico, la agricultura industrial y la agricultura sostenible para analizar el manejo del suelo.

3.1 Desarrollo Sostenible

Es importante entender primero el concepto de desarrollo para después abordar el concepto de desarrollo sostenible. La idea de desarrollo difiere de la de crecimiento. Este último se refiere únicamente al aumento cuantitativo de la riqueza o del producto *per cápita*, mientras que la idea de desarrollo incluye una mejora cualitativa en la economía a través de una mejor división social del trabajo, el empleo de una tecnología mejorada y la mejor utilización de los recursos naturales y el capital. Por tanto, el desarrollo es un concepto mucho más amplio que el crecimiento (Sanchis, 1999).

Del mismo modo, el concepto de desarrollo difiere del de progreso. El progreso implica una continua incorporación de valores a través de un proceso de descubrimiento y creación de valores que en sí mismo es ilimitado. En cambio, el desarrollo implica que determinadas posibilidades preexistentes se han hecho explícitas y se han materializado, lo cual conlleva una limitación en términos cuantitativos, e implica la existencia de directrices básicas de legitimidad o validez en términos cualitativos. En definitiva, solo se pueden alcanzar ciertos niveles de desarrollo en una comunidad dada y para un período dado, y además, en base a unas normas y criterios dictados por las condiciones efectivas en que se encuentra la sociedad que se desea desarrollar. Teniendo en cuenta la relación de tres conceptos distintos como son: crecimiento, progreso y desarrollo, se ha de considerar el

desarrollo como un proceso necesariamente estructurado, a través del cual se puede alcanzar el crecimiento y el progreso de una sociedad (Sanchis, 1999).

La consideración del desarrollo desde un punto de vista global permite hablar del desarrollo integral, como aquel que es capaz de aunar y coordinar los esfuerzos de todos los agentes implicados en el mismo, de manera que se potencian las relaciones económicas y sociales preexistentes y no su ruptura, traduciéndose en un cambio incremental controlado y a largo plazo (Vázquez, 1984).

Fue hasta los años setentas con el renacimiento del ambientalismo cuando al desarrollo se le asigna la acepción de “sostenible” como propuesta de integración entre el medio ambiente y el desarrollo, supuestamente para estabilizar las relaciones entre el sistema social y el medio ambiente. El concepto de desarrollo sostenible fue discutido en las reuniones preparatorias de la “Conferencia sobre Medio Ambiente Humano” celebrada en Estocolmo en 1972, al reconocer que el planeta enfrentaba una crisis ecológica, discutido por algunos científicos durante los años sesenta, como R. Dasmann, J. Milton y P. Freeman. En los años ochenta el concepto siguió utilizándose por la “Estrategia Mundial para la Conservación” y en otros informes del Banco Mundial. Sin embargo, el concepto tuvo un avance sustantivo cuando la “Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo” de las Naciones Unidas, dio a conocer el informe conocido como “Nuestro Futuro Común” o también llamado “Informe Brundtland” (1987). Más tarde se retomó en la *Conferencia de Río en 1992*, sobre “Medio Ambiente y Desarrollo”, organizada por las Naciones Unidas. A partir de estos eventos, el concepto se ha difundido ampliamente alcanzando diversas repercusiones en todos los ámbitos (Sevilla y Woodgate, 1997: 80-82; Sachs, 1997: 64-67; Jiménez Herrero, 2000: 81 citado en Ocampo, 2004).

La definición pionera que define un nuevo enfoque de las relaciones sociedad naturaleza, la establece el Informe Brundtland (1987), que considera el desarrollo sostenible como el desarrollo que “*satisface las necesidades de las generaciones*

presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Ocampo, 2004).

Durante los últimos años, el desarrollo sostenible se ha convertido en tema de debate y son diversas las corrientes de pensamiento que sustentan las distintas posiciones. Éstas se diferencian de manera sustancial en la forma de percibir la relación entre naturaleza y sociedad; todas se enfrentan al desafío de proponer soluciones a la creciente degradación ambiental que amenaza la posibilidad de mejorar el bienestar de las personas. Al respecto, Escobar (1993 citado en Pavón 2003), sostiene que este debate ha sido motivado por el carácter destructivo del desarrollo y la degradación ambiental a escala mundial. Esta posición es compartida por Contreras (1994 citado en Pavón, 2003) quien manifiesta que en "el afán de progreso, el desarrollo y mejoramiento del estándar de vida, el ser humano ha equivocado gravemente su relación con los recursos naturales".

Una sociedad se encuentra en el camino hacia el desarrollo sostenible cuando las oportunidades de acceder a los recursos y beneficios del ecosistema son iguales para todos y para las generaciones futuras. Además, en la construcción de su desarrollo privilegia el fortalecimiento y bienestar de las instituciones básicas -la familia, vecindad y comunidad, para el logro del bienestar común. También, define estrategias viables locales tomando como base los valiosos conocimientos acumulados y guardados por los diferentes grupos humanos, considera la necesidad de proteger el medio ambiente y la diversidad de animales y plantas para vivir en un entorno sano (Pavón, 2003).

Rivas (1997) hace referencia a que el desarrollo sustentable debe considerar tres dimensiones: el equilibrio del medio ambiente físico-ecológico (sustentabilidad ambiental), que incluya la satisfacción de las necesidades de los seres humanos: alimentación, salud, vivienda, educación, información y cultura (sustentabilidad social), y que haga un uso eficiente de los bienes y servicios y su distribución equitativa (sustentabilidad económica). Debe incluir el principio de "equidad" como

elemento fundamental de la sostenibilidad, interpretado como el reparto equitativo de recursos y responsabilidades, conjugación de esfuerzos de las organizaciones y la participación social. Debe haber "justicia ambiental", refiriéndose a la equidad en términos ambientales, el acceso equitativo a los recursos naturales y de la distribución equitativa del peso de la contaminación (Martínez, 1999).

El desarrollo en cualquiera de sus vertientes requiere que como sociedad sea capaz de interferir lo menos posible en la alteración del equilibrio que la naturaleza por si misma tiene; tiene que respetar los procesos que en el medio se llevan a cabo para provocar el menor número de perturbaciones posibles, y que de esta forma se mantenga una armonía entre lo que el ser humano desea obtener del ambiente y los mecanismos que la naturaleza lleva a cabo, sin poner en primera instancia los intereses particulares de instituciones o de organismos que no pretenden conservar ese equilibrio. Debe buscarse la forma de resolver las necesidades respetando los procesos naturales para que las necesidades futuras también se resuelvan.

El desarrollo sostenible se puede dar a nivel planetario, nacional y local; lo que se busca es hacer un uso eficiente de los recursos y lograr una equidad intra e intergeneracional. Debe haber una obligación ética de una generación a otra sobre el uso de los recursos; se deben conjugar la eficiencia, la equidad y la sustentabilidad, a través de la articulación con otros actores sociales donde la base sea la participación social (Ocampo, 2004).

Por otro lado tenemos el concepto de sostenibilidad (como sustantivo), el cual aún se encuentra en esa discusión si el término correcto es sostenible o sustentable; para fines de esta investigación no haremos distinción entre alguno, sin embargo se hará uso del término sostenibilidad o sostenible.

La palabra sostenibilidad tiene diferentes significados para diferentes personas; sin embargo, hay consenso en que tiene una base ecológica. En una forma general, la sostenibilidad es una versión del concepto de "rendimiento

sostenido", es decir, la condición o capacidad de cosechar a perpetuidad cierta biomasa de un sistema que tiene la capacidad de renovarse por sí mismo o que su renovación no está en riesgo (Gliessman, 2002).

El concepto de sostenibilidad surgió en la década de 80, originado por la necesidad de cambiar el modelo de uso de los recursos naturales y por la búsqueda de una nueva forma de desarrollo de la sociedad (Deponti *et al.*, 2002 citado en Duarte, 2005). La primera definición internacionalmente reconocida, creada por la Asamblea de las Naciones Unidas en 1987, asocia la sostenibilidad al desarrollo. Desde la Cumbre de la Tierra, en 1992, el manejo sostenible de agroecosistemas se ha convertido en uno de los objetivos a alcanzar por parte de las políticas forestales y agrícolas en muchos países. Sin embargo, aún no se ha logrado un consenso en su significado exacto u operacional, debido a que el concepto de sostenibilidad puede variar a través del tiempo y tener un diferente significado para cada persona (Rigby, 2001).

La FAO considera que la sostenibilidad no implica necesariamente una estabilidad continua de los niveles de productividad, sino más bien la resiliencia de la tierra; en otras palabras, la capacidad de la tierra para recuperar los niveles anteriores de producción, o para retomar la tendencia de una productividad en aumento, después de un período adverso a causa de sequías, inundaciones, abandono o mal manejo humano (Urquiza, 2011).

La sostenibilidad ecológica se refiere a las características fundamentales para la supervivencia que deben mantener los ecosistemas a través del tiempo en cuanto a componentes e interacciones. La sostenibilidad económica implica la producción a una rentabilidad razonable y estable a través del tiempo, lo cual haga atractivo continuar con dicho manejo. Y la sostenibilidad social aspira a que la forma de manejo permita a la organización social un grado aceptable de satisfacción de sus necesidades (Bautista, 2004).

3.2 Teoría de Sistemas

La noción sistémica es antigua, pero ha sido retomada para explicar la complejidad del conocimiento de la realidad y la constante ampliación de la información, que ha traído como consecuencia una creciente especialización del saber, con el consiguiente peligro de la dispersión del mismo y de la ausencia de visión holística de los fenómenos. Estos planteamientos explican cómo la ampliación del espacio vital conlleva la pérdida de control directo sobre éste. Frente a ello, se pretende abstraer, esquematizar, esa compleja realidad y subrayar los rasgos fundamentales de la misma. Este corpus se ha desarrollado en la denominada teoría general de sistemas cuya finalidad es unificar los métodos y conceptos de las diversas ciencias reduciéndolos a modelos de validez generalizada. El objetivo es delimitar un ecosistema o sistema. Este puede definirse como un conjunto determinado de componentes, dotados de ciertas propiedades, atributos o valores, que están en relaciones directas o indirectas de interdependencia, cumplen unas funciones determinadas y están implicados en la producción de un resultado del conjunto del sistema (García, 1975).

En la teoría general de sistemas L. Von Bertalanffy (citado en FAO, 2005a), define un sistema como «un conjunto de elementos vinculados entre ellos por relaciones que le confieren una cierta organización para cumplir determinadas funciones». En otras definiciones (De Rosnay, 1975), substancialmente similares, un sistema es «un conjunto de elementos en interacción dinámica, organizados en función de un objetivo».

Analizar un sistema requiere circunscribirlo dentro de límites o fronteras, identificar sus componentes e individualizar todo aquello que aún si no se encuentra contenido en el sistema (resto del mundo), tiene relación con él y condiciona su funcionamiento. Por ejemplo, una unidad de producción familiar campesina puede examinarse como un sistema que combina un recurso humano y un conjunto físico de elementos involucrados en la producción. Sus límites son, por una parte los de la

familia nuclear y por otra, los del territorio en el cual ejerce su actividad - finca, parcelas, etc. - y de los varios factores de producción. Los componentes del sistema son los miembros de la familia nuclear y los elementos involucrados en su producción tales como las parcelas y los rebaños, las herramientas, los edificios, etc. El resto del mundo, lo que no forma parte del sistema, son los vecinos, los familiares externos a la unidad nuclear, el medio natural en el cual se encuentra ubicada esta unidad, las redes de abastecimiento y de comercialización, los servicios públicos de la comunidad, etc. Antes de distinguir y estudiar a fondo los componentes del sistema es oportuno identificar con claridad sus límites (FAO, 2005a).

Los últimos estudios teóricos de los sistema de producción recurren a la teoría de sistemas expuesta por Bertalanffy en 1925, e introducen, para su comprensión, los conceptos de sinergia, recursividad, jerarquía y homeostasis, desde los cuales se realiza la caracterización amplia del sistema y los subsistemas constitutivos (Malagón, 2001). En la teoría de sistemas, sin embargo, “faltaba un enfoque de transformación, que permitiera visualizar sistemas dinámicos como son los procesos de la vida” (Reina, 2000).

Los conceptos de la teoría de sistemas tienen fuerte solidez para los sistemas cerrados más no para los sistemas abiertos. Según Capra (1999, citado en Vega, 2006) “Bertalanffy acuñó el término alemán *fliessgleichgewicht* («equilibrio fluyente») para describir este estado de equilibrio dinámico” y encontró, en su momento, que “la entropía (o desorden) puede decrecer y la segunda ley de la termodinámica puede no ser de aplicación” para los seres vivos. Hubo de esperarse a la evolución de los conceptos de la termodinámica para que Prigogine planteara la estructura de un ser vivo como una estructura disipativa donde “un sistema vivo es a la vez, abierto y cerrado: abierto estructuralmente, pero cerrado organizativamente. La materia y energía fluye a través de él. Pero el sistema mantiene una forma estable y lo hace de manera autónoma, a través de su autoorganización”, deriva por donde se presenta la posibilidad de introducir los conceptos de autopoiesis al sistema y, por ende,

entenderlo como vivo.

De acuerdo a la FAO (2005), el análisis de un sistema combina:

- i) “Aspectos estructurales: descripción y estudio de sus elementos o componentes, su organización y su complejidad. En el ejemplo anterior, serían las familias campesinas, las tierras, el agua, los bosques y otros recursos naturales a los cuales tiene acceso la familia, la organización espacial de la unidad de producción, etc.
- ii) Aspectos funcionales: descripción y estudio de las interacciones y los intercambios entre estos componentes, así como de sus roles respectivos. En nuestro ejemplo serían el tipo de trabajo dedicado a la producción, las interacciones entre los rebaños y las parcelas cultivadas, los intercambios o flujos entre las producciones animales, vegetales, etc.
- iii) Aspectos dinámicos: estudio de la evolución del conjunto del sistema, de sus componentes y de las relaciones entre ellos. En el ejemplo mencionado serían la evolución de la composición de la familia, su reproducción biológica y la evolución de las condiciones de vida y de los ingresos de la familia, su reproducción económica (empobrecimiento, reproducción en condiciones estables, acumulación y reproducción ampliada, etc.)”.

Se puede visualizar un sistema como la combinación de subsistemas jerarquizados e interdependientes, donde cada uno de sus componentes puede ser analizado como un sistema separado, por ejemplo, subsistemas de ganadería, subsistemas de cultivos, etc. En resumen, el análisis estructural de un sistema es el estudio de su composición. Consiste en describir y estudiar los distintos elementos que lo componen, reduciendo su complejidad a una cantidad limitada de elementos o componentes significativos.

Como menciona la FAO (2005), el análisis funcional de un sistema examina las relaciones y los intercambios entre estos componentes, es decir los flujos, las interacciones y los mecanismos de regulación y control entre los elementos constitutivos del objeto estudiado; el análisis de la dinámica de un sistema identifica

las tendencias pasadas y presentes en su contexto global, sus transformaciones en el tiempo, teniendo en cuenta sus condicionantes externos. Incluye generalmente las relaciones con el resto del mundo.

En un sistema de tipo agrícola encontramos una relación directa de seres vivos –plantas, insectos, bacterias, hombre– con elementos entendidos como inanimados –agua, luz, CO₂, suelo, etc. – que se integran y forman una totalidad superior.

Para Spedding (1979) un sistema agrícola debe incluir los siguientes elementos:

“Objetivo: para el que se ha diseñado el sistema; límites: algún procedimiento para decir qué está dentro y qué está fuera del sistema; contexto: entorno externo en el que opera el sistema; componentes: componentes principales que se relacionan para [formarlo]; interacciones entre los componentes; recursos: componentes internos del sistema que se usen con este fin; aportes usados por el sistema pero procedentes de fuera de él; productos o realizaciones principales deseados; y subproductos útiles, aunque incidentales”.

El sistema de operaciones o producción presenta varios subsistemas: el de conversión, planeación, organización y control –retroalimentación–, el subsistema de conversión tiene unas entradas –materias primas, mano de obra, energía, capital e información–, un proceso de producción y unas salidas –productos o servicios– (Everett, 1991, citado en Vega, 2006).

Para la función operacional dentro de las organizaciones, Adam Everett (1991, citado en Vega, 2006) plantea los siguientes conceptos básicos:

“Tienen un proceso de conversión, algunos insumos al proceso, los productos resultantes de la conversión de insumos, y retro alimentación de información sobre las distintas actividades del sistema operacional. Una vez que han sido producidos, los bienes y los servicios se transforman en efectivo (se venden) con

el objeto de adquirir más recursos para mantener activo el proceso de conversión del caso”.

El enfoque sistémico se basa en una idea central: cada agricultor obedece, según las características de su explotación agrícola y de su situación familiar, a una lógica productiva determinada, la cual depende, en gran parte, de la dotación de factores productivos y de los factores limitantes (cuellos de botella) de la unidad de producción. Por ejemplo, si la mano de obra familiar es abundante y subutilizada y la tierra disponible escasa, el agricultor privilegiará técnicas de producción intensivas en mano de obra, es decir, técnicas que den un mayor rendimiento por unidad de producción; por otra parte, el productor probablemente buscará complementar sus ingresos fuera de la finca mediante actividades extra agrícolas. En cambio, los factores limitantes son la mano de obra y el capital disponible, el agricultor posiblemente dará prioridad a las técnicas extensivas, es decir, técnicas que intenten maximizar la productividad por día trabajado, etc. (FAO, 2005a).

Con base en lo anterior, se concluye que existen diferentes percepciones sobre un sistema, unos más acotados al ámbito agrícola y otros más generales. En esta investigación, el análisis de la información se llevó a cabo bajo el enfoque de sistema agrícola para poder entender las interacciones, componentes y funciones de los elementos encontrados el sistema de estudio, en este caso el manejo del recurso suelo, por lo que se utilizó el enfoque agroecológico.

3.3 Enfoque Agroecológico

3.3.1 Concepto y objetivos

El estudio se abordó con el enfoque agroecológico que considera a los ecosistemas agrícolas como las unidades fundamentales de estudio; y en estos sistemas, los ciclos minerales, las transformaciones de la energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas son investigados y analizados como un

todo (Altieri, 2000). Es así como desde esta visión se puede abordar la situación de una forma que englobe la mayor parte de los factores que intervienen.

El enfoque agroecológico se aborda desde la perspectiva de la sostenibilidad que considera tres elementos implícitos en el concepto: la dimensión económica, la social y la ecológica (Hünne Meyer *et al.*, 1997), en este caso referido al recurso suelo (Figura 4).

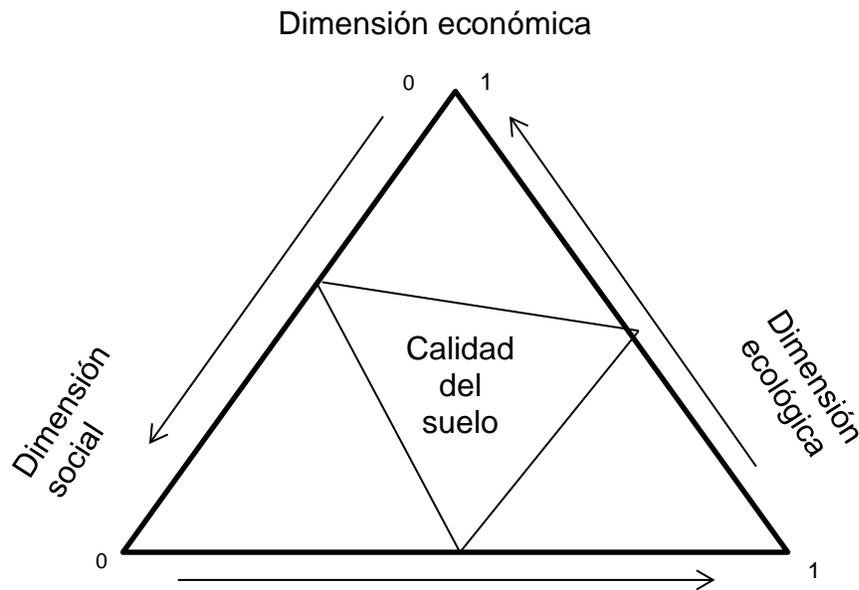


Figura 4. Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto sostenibilidad

Fuente: Hünne Meyer *et al.*, 1997.

A través de este esquema dejamos ver que para poder entender el sistema objetivo de esta investigación, es importante tener presentes las 3 dimensiones involucradas para su manejo.

La agroecología, es un enfoque el cual se define como la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles. Provee el conocimiento y metodología necesarios para desarrollar una agricultura que sea por un lado ambientalmente adecuado, y por otro lado altamente productiva y económicamente viable. Establece condiciones para el desarrollo de

nuevos paradigmas en agricultura, en parte porque prácticamente elimina la distinción entre la generación de conocimiento y su aplicación. También valoriza el conocimiento local empírico de los agricultores, el compartir este conocimiento y su aplicación al objetivo común de la sostenibilidad (Gliessman, 2002).

Aun cuando el enfoque agroecológico comienza prestando atención a un componente particular de un agroecosistema y su posible alternativa de manejo, durante el proceso establece las bases para muchas cosas. Aplicando el enfoque en forma más amplia, nos permite examinar el desarrollo histórico de las actividades agrícolas en una región y determinar las bases ecológicas para seleccionar prácticas más sostenibles para esa zona. También nos puede ayudar a encontrar las causas de los problemas que han emergido como resultado de prácticas insostenibles. Todavía más, el enfoque agroecológico nos ayuda a explorar las bases teóricas para desarrollar modelos que puedan facilitar el diseño, las pruebas y la evaluación de agroecosistemas sostenibles. Finalmente, el conocimiento ecológico de la sostenibilidad de agroecosistemas debe reestructurar el enfoque actual de la agricultura con el objetivo de que la humanidad disponga de sistemas sostenibles de producción de alimentos (Gliessman, 2002).

Por otra parte, la agroecología puede ser definida como el manejo ecológico de los recursos naturales a través de formas de acción social colectiva que presentan alternativas a la actual crisis civilizatoria. Y ello mediante propuestas participativas, desde los ámbitos de la producción y la circulación alternativa de sus productos, pretendiendo establecer formas de producción y consumo que contribuyan a encarar el deterioro ecológico y social generado por el neoliberalismo actual. Su estrategia tiene una naturaleza sistémica, al considerar la finca, la organización comunitaria, y el resto de los marcos de relación de las sociedades rurales articulados en torno a la dimensión local, donde se encuentran los sistemas de conocimiento (local, campesino y/o indígena) portadores del potencial endógeno que permite potenciar la biodiversidad ecológica y sociocultural. Tal diversidad es el punto de partida de sus agriculturas alternativas, desde las cuales se pretende el

diseño participativo de métodos endógenos de mejora socioeconómica, para el establecimiento de dinámicas de transformación hacia sociedades sostenibles (Sevilla, 2009).

Altieri (2002) hace referencia a que en la búsqueda por reinstalar una racionalidad más ecológica en la producción agrícola, los científicos y promotores han ignorado un aspecto esencial o central en el desarrollo de una agricultura más autosuficiente y sustentable. Un entendimiento más profundo de la naturaleza de los agroecosistemas y de los principios por los cuales estos funcionan. Dada esta limitación, la agroecología emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables.

La agroecología va más allá de un punto de vista unidimensional de los agroecosistemas (su genética, edafología y otros) para abrazar un entendimiento de los niveles ecológicos y sociales de coevolución, estructura y función. En lugar de centrar su atención en algún componente particular del agroecosistema, la agroecología enfatiza las interrelaciones entre sus componentes y la dinámica compleja de los procesos ecológicos (Vandermeer, 1995 citado en Altieri, 2002).

La agroecología introduce, junto al conocimiento científico, otras formas de conocimiento. Desarrolla, por consiguiente, una crítica al pensamiento científico para, desde él, generar un enfoque pluriepistemológico que acepte la biodiversidad sociocultural. La evidencia empírica obtenida durante las cuatro últimas décadas desde la Agroecología (Altieri, 1985; Gliessman, 1998; Guzmán, González de Molina y Sevilla, 2000 citado en Sevilla, 2009) ha demostrado que el conocimiento acumulado sobre los agroecosistemas en el pasado puede aportar soluciones específicas de cada lugar para resolver los problemas sociales y medioambientales. Más aún si han sido distintas las etnicidades (con cosmovisiones diferenciadas) que han interactuado con él en cada momento histórico, las que aportan su conocimiento

para obtener dichas soluciones. Existen múltiples formas de conocimiento en los grupos históricamente subordinados susceptibles de ser recuperadas para su incorporación al diseño de estrategias agroecológicas (Sevilla, 1997).

Finalmente Altieri (2002) menciona que entre los principios clave para la agricultura, se encuentran los de la agroecología:

1. Fomentar el reciclado de la biomasa y optimizar la disponibilidad de nutrientes y el balance de flujos de nutrientes.
2. Asegurar unas condiciones de suelo favorables para el crecimiento de las plantas, realizando un buen manejo de la materia orgánica, las cubiertas vegetales y la actividad biótica del suelo.
3. Minimizar las pérdidas de energía solar, de aire y de agua, adecuando el manejo al microclima local, e incrementando las coberturas para favorecer la recogida de agua y el manejo del suelo.
4. Diversificación del agroecosistema, en el tiempo y el espacio, de especies y genéticamente.
5. Fomentar las interacciones y sinergias biológicas benéficas entre los componentes de la agrobiodiversidad, para promover los procesos y servicios ecológicos clave.

3.3.2 Agroecosistemas: constitución y funcionamiento

Un fundamento básico de la agroecología es el concepto de ecosistema, definido como sistema funcional de relaciones complementarias entre los organismos vivos y su ambiente, delimitado por fronteras definidas arbitrariamente, en un tiempo y espacio que parece mantener un estado estable de equilibrio, pero a la vez dinámico (Odum, 1984; Gliessman, 1998). Este equilibrio puede considerarse definitivamente, que sea sostenible. Un ecosistema bien desarrollado, maduro, es relativamente estable, autosostenible, se recupera de las perturbaciones, se adapta al cambio y es capaz de mantener su productividad usando insumos energéticos provenientes solamente de la radiación solar. Cuando extendemos el concepto de

ecosistema a la agricultura, y consideramos los sistemas agrícolas como agroecosistemas, tenemos los fundamentos para ir más allá del foco primario de atención de los sistemas de medición tradicionales, y fáciles de los productos del sistema (rendimiento o retorno económico). En su lugar, podemos ver el complejo conjunto de interacciones biológicas, físicas, químicas, ecológicas y culturales que determinan los procesos que nos permiten obtener y sostener los rendimientos (Gliessman, 2010).

Los agroecosistemas son comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado para producir alimentos, fibra, combustible y otros productos para el consumo y procesamiento humano. La agroecología es el estudio holístico de los agroecosistemas, incluidos todos los elementos ambientales y humanos. Centra su atención sobre la forma, la dinámica y función de sus interrelaciones y los procesos en el cual están envueltas. Un área usada para producción agrícola, por nutrientes sólo se transforma en una limitante, si el agroecosistema no está en equilibrio (Carrol *et al.*, 1990 citado en Altieri, 2002).

Por esta razón, todavía persiste y prevalece la visión estrecha que la productividad es afectada por causas específicas y por lo tanto, que la solución de estos factores limitantes, mediante nuevas tecnologías, continúa siendo el principal objetivo. Esta visión ha impedido a los agrónomos darse cuenta que los factores limitantes, sólo representan los síntomas de una enfermedad más sistémica inherente a desbalances dentro del agroecosistema, y han provocado una apreciación del contexto y la complejidad del agroecosistema que subestima las principales causas de las limitaciones agrícolas (Altieri, 2002)

En esencia, el comportamiento óptimo de los agroecosistemas depende del nivel de interacción entre los varios componentes bióticos y abióticos. Al ensamblar una biodiversidad funcional es posible iniciar sinergismos que subsidiaran los procesos del agroecosistema al proveer servicios ecológicos tales como la activación de la biología del suelo, el reciclaje de nutrientes, la promoción de artrópodos

benéficos y antagonistas, etc. Hoy existe una selección variada de prácticas y tecnologías a disposición con diferentes grados de efectividad y con un valor intrínseco estratégico (Altieri, 2000).

Los agroecosistemas son a menudo más difíciles de estudiar que los ecosistemas naturales, porque se complican con la intervención humana que altera la estructura y función de los ecosistemas normales. No hay disputa sobre el hecho de que para que cualquier agroecosistema sea sostenible, se deben tomar en cuenta una amplia serie de factores y procesos ecológicos, económicos y sociales interactuantes. No obstante, la sostenibilidad ecológica es la materia prima de construcción sobre la cual los otros elementos de la sostenibilidad dependen (Gliessman, 2010).

Un agroecosistema se crea, cuando la manipulación humana y la alteración de un ecosistema tienen lugar con el propósito de establecer la producción agrícola. Esto introduce varios cambios en la estructura y función del ecosistema natural, y, como resultado, cambia un número de cualidades clave al nivel del sistema. Estas cualidades se reconocen como cualidades emergentes o propiedades del sistema –cualidades que se manifiestan una vez que todos los componentes del sistema están organizados. Estas mismas cualidades pueden servir también como indicadores de la sostenibilidad del sistema (Gliessman 2010).

Gliessman (2010) considera que algunas cualidades emergentes clave de los ecosistemas, y cómo son alteradas cuando se convierten a agroecosistemas, son: 1) Flujo de energía, 2) Reciclaje de nutrientes, 3) Mecanismos de regulación de poblaciones y 4) Equilibrio dinámico.

3.3.3 Saberes campesinos

En el manejo sostenible de los agroecosistemas los saberes campesinos son fundamentales. En el abordaje teórico de los saberes se asume que los mismos,

como procesos y productos de la creación humana, se encuentran insertos en la cultura de los pueblos. Por lo tanto, a los fines de obtener una visión de los procesos dentro de los cuales se forma el saber es pertinente, en primer término, caracterizar los rasgos culturales donde se mueve el hombre campesino y posteriormente se profundizará en las referencias teóricas que permiten comprender la constitución del saber (Núñez, 2004).

Como premisas básicas al estudio de la cultura se considera que "cada sociedad tiene una cultura, aunque sea simple, y cualquier ser humano es culto, en el sentido que participa de una cultura" (Ember y Ember, 1997); todo hombre vive y se completa en y por la cultura (Morin, 1999, citado en Núñez, 2004) y, por lo tanto, la "cultura es toda creación humana" (Freire, 1998).

La relatividad en la comprensión de las culturas locales, desde una concepción de su dinámica interacción con los entornos socio-culturales y económicos donde se halla inmersa, representa una privilegiada oportunidad para asumir la posibilidad de revalorizar las culturas nativas a los fines de reconstruir las costumbres, valores y creencias de los pueblos latinoamericanos y enlazarlos, dentro de un enfoque de desarrollo humano sostenible, con los logros de la cultura occidental, hasta ahora dominante y arropadora de la cultura amerindia (Núñez, 2004).

El conocimiento involucra contenidos u objetos sobre los que se ejerce la acción de conocer, así como un paradigma epistemológico. En español el término saberes, tiende a incluir prácticas, procesos y técnicas referidas a un contenido particular (medicina, meteorología, manejo de recursos naturales y forestales, ganadería, etc.), en ocasiones se les vincula con una cosmovisión (Gómez, 2006 citado en Salinas y López, 2012). Sin embargo, este término no siempre reconoce que exista un proceso de producción de conocimiento dinámico, sustentado en un sistema epistémico complejo y holista. Varios autores interesados por el conocimiento indígena, lo describen como un sistema complejo que incluye:

conocimiento, “saber hacer”, prácticas y representaciones que guían a las sociedades en su interacción con el medio (agricultura, crianza de animales, caza, pesca, recolección, salud). Pero también permite explicarse los fenómenos naturales y desarrollar estrategias para enfrentar los cambios. Otra característica del conocimiento indígena es que no se basa en dicotomías como lo hace el occidental, es decir, no opone lo terrenal y lo espiritual; lo empírico y lo intuitivo; lo objetivo y lo sagrado (Nakashima y Roué, 2002).

Las culturas campesinas –de todas las latitudes- han aplicado históricamente prácticas ecológicas y respetuosas de la naturaleza, son las menos consumistas y dependen muy poco de los productos de las empresas transnacionales (Salinas y López, 2012).

El interés de la academia por el conocimiento indígena se manifiesta a inicios de los ochenta del siglo pasado, siendo el eje central en los debates sobre el desarrollo sostenible debido a que dio sustento a formas de vida en armonía con el medio ambiente por generaciones. Así, el propio Banco Mundial reconoce que los conocimientos indígenas son la base de estrategias para resolver problemas de las comunidades locales y que la investigación puede ayudar en el proceso de desarrollo, debido a una mejor comprensión de las condiciones locales. El intercambio de conocimientos debe ser una vía de doble sentido, ya que la visión de la transferencia de conocimiento como una banda transportadora unidireccional desde los países ricos e industrializados hacia los países pobres, puede conducir al fracaso y al resentimiento (BANCO MUNDIAL, 1998).

Agricultura industrial Vs. Agricultura sostenible

En la actualidad predominan dos formas de manejo de los recursos naturales para hacer agricultura: el manejo agroindustrial y el manejo campesino, este último con principios de sostenibilidad para hacer una agricultura sostenible. Los principios y características se describen a continuación:

3.4 Agricultura industrial

3.4.1 Concepto y objetivos

La agricultura fue inventada hace aproximadamente 10,000 años durante lo que hoy se conoce como “revolución neolítica”. Desde aquel momento el hombre ha tratado de modificar los procesos naturales a fin de obtener los alimentos y fibras que necesita para satisfacer algunas de sus necesidades básicas; a lo largo de todo este periodo ha ido cambiando progresivamente el modo de vincularse con la naturaleza y ha incorporado un sinnúmero de innovaciones tecnológicas y productivas (Cáceres, 2003).

La agricultura reviste un carácter estratégico para cualquier nación. Sin alimentos no es posible la supervivencia, de modo que la producción agrícola responde a una necesidad vital. En las últimas décadas ha aumentado la preocupación de la sociedad por el tema de la calidad alimentaria y, más en concreto, por los posibles riesgos sanitarios que conlleva su consumo (Martínez, 2010).

“La agricultura industrial es una forma de manejo de los recursos naturales que genera un proceso de artificialización de los ecosistemas, en el que el capital realiza apropiaciones parciales sucesivas de los distintos procesos de trabajo campesino para incorporarlos después al manejo, como factores de producción artificializados industrialmente, o como medios de producción mercantilizados. Los procesos biológicos son simplificados mediante la utilización de inputs externos ajenos al reacomodo y reciclaje de la energía y materiales en ellos utilizados. Se busca con ello uniformizar el medio ambiente local para estabilizar la producción, controlando al máximo el riesgo, eliminando la biodiversidad local para obtener un máximo homogéneo de producción en un desierto ecológico” (Sevilla 2001. Material presentado en el curso de doctorado ciclo 2000/2001: Bases ecológicas de la agroecología citado en Ocampo, 2004).

3.4.2 Principios

La agricultura industrializada se caracteriza por el desarrollo del monocultivo, el control de insumos por la industria transnacional, la dependencia de combustibles fósiles y fuertes cantidades de capital. La misma estructura de poder implementó la “ley de mínimo”, en la que se ha basado la agronomía clásica, donde hay un solo factor limitante que se supera aplicando un insumo hasta que se presenta otro, que también se resuelve, sin atacar el problema de raíz, generando el desbalance ecológico. En el aspecto socioeconómico, las nuevas tecnologías beneficiaron a los grandes propietarios por el sesgo hacia lo moderno y de altos insumos, impulsadas por instituciones que condicionaban la tenencia de la tierra, crédito, asistencia técnica, infraestructura, etc., favoreciendo a las grandes propiedades (Altieri, 1991), y afectando a los pequeños productores agrícolas. Por la dependencia de insumos y equipos externos en la agricultura industrializada, se crearon intereses económicos muy fuertes. Este juego del potencial de ganancias es lo que hace que el sistema agrario sea renuente al cambio.

3.4.3 Prácticas de manejo

En la práctica de la agricultura industrializada consideran que la naturaleza está a su disposición y deben dominarla a través de la ciencia y la tecnología, porque ésta les ofrece una riqueza que se debe explotar. Es una visión productivista y pragmática de la naturaleza, percibida como un sistema independiente del sistema social. Es decir, es una visión racionalista y mecanicista, que concibe la naturaleza como máquina portadora de recursos (Toledo, 1991).

Los rasgos de este modelo de producción, distribución y consumo de alimentos son (Galindo, 2004):

- a) colocación de la eficiencia económica y la competitividad como la finalidad básica de la producción de alimentos;

- b) importación a la agricultura industrializada, el aumento constante de la escala de la producción y la orientación hacia la exportación;
- c) cambio cultural de la figura del campesino que produce alimentos sanos para las personas, al empresario agrícola que triunfa enriqueciéndose;
- d) empleo intenso de tecnología: maquinaria, irrigación, semillas híbridas, fertilización y lucha contra plagas y enfermedades con productos químicos y otros;
- e) desconsideración, por ineficientes, de las formas tradicionales de la agricultura de cada territorio, junto con los conocimientos asociados de manejo de suelos, agua, semillas, cultivos y otros.

Romera y Guerrero (2007), mencionan que dentro de las consecuencias que ha originado la agricultura convencional podemos encontrar las siguientes:

- a) alto costo energético, disminución de la relación energía obtenida/energía utilizada en su producción, debido a que al utilizar energía fósil, ésta no es renovable y es agotable en un plazo determinado de décadas, y por otro lado que los fertilizantes sintéticos, son productos de elevado consumo energético.
- b) pérdida de fertilidad y erosión de suelos, debido a la excesiva explotación a que están siendo sometidos (monocultivo, mecanización).
- c) problemática del monocultivo, grandes extensiones de tierra dedicadas a un solo cultivo, favorece la aparición de plagas y resistencia, provocando un abuso en el uso de agroquímicos.
- d) degradación de los bienes naturales y el ambiente, con problemas como: contaminación de aguas superficiales y subterráneas por agroquímicos, del aire y disminución de la biodiversidad debido a la deforestación.

Todos estos problemas han sido reconocidos mundialmente, como en los informes presentados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2007), y por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007).

3.5 Agricultura Sostenible

3.5.1 Concepto y objetivos

Es evidente que el ritmo de producción de la agricultura ha ido cambiando, cada vez que tiene que abastecer las necesidades alimenticias que dependen de ésta, situación que pone en entredicho la visión de mantener un sistema hacia una visión sostenible, y por otro lado, un sistema que este dentro de la dinámica de producción que demanda el abastecimiento de alimentos, motivo que también ha llevado a la especialización de los cultivos.

Ante esta situación, y a la creciente preocupación ambiental sobre nuestros recursos, la práctica de la agricultura sostenible aparece como un desafío vital para quienes nos encontramos en esta era (Cufre *et al.*, 2002). Al referirnos a una agricultura sostenible, hacemos referencia a que debe ser: a) suficientemente productiva, capaz de alimentar a una población en aumento, consecuentemente mayores rendimientos deben ocurrir y serán el resultado de mejores sistemas de manejo de suelos; b) económicamente viable (evaluando todos los costos); c) ambientalmente o ecológicamente adecuada (que conserve la base de recursos naturales y preserve la integridad del ambiente a nivel local, regional y global); d) cultural y socialmente aceptable; y e) técnicamente apropiado (Núñez, 2005).

La agricultura es más que una actividad económica diseñada para producir un cultivo o para obtener el más alto beneficio posible. Un agricultor ya no puede prestar atención solamente a los objetivos y metas de su unidad de producción y esperar que con esto puede enfrentar los problemas de la sostenibilidad en el largo plazo. La discusión sobre la agricultura sostenible debe ir más allá de lo que sucede dentro de los límites de la unidad de producción individual. La producción se percibe ahora como un sistema mucho más vasto, con muchas partes interactuantes incluyendo componentes ambientales, económicos y sociales (Gliessman, 2010). Son estas complejas interacciones y el balance entre todas estas partes lo que nos reúne a

discutir que es la agroecología, determinar cómo nos movemos hacia los agroecosistemas sostenibles, y como una perspectiva agroecológica es una forma de hacer la conversión hacia la sostenibilidad (Gliessman, 2010).

En un intento por clarificar nuestro propio pensamiento sobre los agroecosistemas, pensamos a menudo la agricultura como una corriente, y las unidades de producción son diferentes puntos a lo largo de esa corriente. Cuando pensamos en una parcela agrícola individual como un “estanque”, un remanso en algún giro de la corriente, podemos imaginar cuantas cosas “fluyen” hacia esa parcela y también podemos esperar que muchas cosas “fluyen” hacia fuera de esa parcela agrícola también. Como agricultores, trabajamos duro para mantener limpio y productivo nuestro estanque (nuestra unidad de producción) en la corriente. Tratamos de ser tan cuidadosos como sea posible en lo que respecta al suelo, que cultivos plantar, como controlar plagas y enfermedades y como comercializar la cosecha. En otros tiempos, cuando había mucho menos granjas o fincas, menos gente que alimentar y menores demandas sobre los agricultores y sus tierras de cultivo, se podían mantener las unidades agrícolas en muy buenas condiciones. Se podía mantener el “estanque” bastante limpio y no había que preocuparse mucho por lo que pasaba “corriente abajo” de las fincas (Gliessman, 2010).

En la Cumbre de la Tierra celebrada en 1992 en Río de Janeiro, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) definió la agricultura y el desarrollo rural sostenibles en los siguientes términos: “El desarrollo sostenible es la gestión y conservación de la base de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas de las generaciones actuales y futuras. Este desarrollo sostenible (en los sectores agrario, forestal y pesquero) conserva los suelos, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (FAO, 1989). En 1995, la FAO

especificó aún más el concepto de agricultura y desarrollo rural sostenibles, definiéndolo como un proceso que cumple con los siguientes criterios (FAO, 2002):

- a) “garantiza que los requerimientos nutricionales básicos de las generaciones presentes y futuras sean atendidos cualitativa y cuantitativamente, al tiempo que provee una serie de productos agrícolas.
- b) ofrece empleo estable, ingresos suficientes y condiciones de vida y de trabajo decentes para todos aquellos involucrados en la producción agrícola.
- c) mantiene, y allí donde sea posible, aumenta la capacidad productiva de la base de los recursos naturales como un todo, y la capacidad regenerativa de los recursos renovables, sin romper los ciclos ecológicos básicos y los equilibrios naturales, los cuales destruyen las características socioculturales de las comunidades rurales o contaminan el medio ambiente.
- d) reduce la vulnerabilidad del sector agrícola frente a factores naturales y socioeconómicos adversos y otros riesgos, y refuerza la autoconfianza.”

3.5.2 Principios

Las discusiones actuales sobre agricultura sostenible van mucho más allá de lo que ocurre entre los límites de cualquier parcela o granja individual (Ikerd, 1993 *et al.*, citado en Gliessman, 2002). Un agricultor que ahora utiliza prácticas agrícolas sostenibles, sabe que la agricultura es más que una actividad productiva en la cual la meta es aumentar la producción de un cultivo en una estación debe también mantener las condiciones de la granja que permiten la productividad de una estación a la siguiente. Pero después, el agricultor no puede solamente poner atención a las necesidades de su granja y esperar manejar adecuadamente las consideraciones para la sostenibilidad a largo plazo (Gliessman, 2002).

Este tipo de agricultura se basa en lo siguiente (Condiza, 1998):

1. Una explotación racional de los recursos naturales; sin destruirlos ni provocar desequilibrio en el medio.

2. Se toma como muestra a la naturaleza: ella se ha equivocado menos que el hombre.
3. Se favorece la biodiversidad.
4. Para la región de alta montaña, se propone la permacultura o sea la implantación de cultivos, perennes y semiperennes en vez de cultivos anuales o semestrales.
5. Se favorece la implantación de bosques nativos (silvicultura).
6. Se favorece la fauna silvestre: pájaros, sapos, serpientes, avispa etc.
7. No se utilizan fertilizantes químicos.
8. No se controlan las plagas, enfermedades o malezas con pesticidas.
9. El cultivo de plantas aromáticas y medicinales dentro de las parcelas.
10. Se recomienda la capacitación periódica del agricultor, la continua investigación y la organización comunitaria.

Esta forma de hacer agricultura comprende un conjunto de prácticas agronómicas adaptadas a las condiciones locales de cada región y a las exigencias del cultivo, cuyas técnicas de cultivo y de manejo de suelo pretenden evitar su erosión y degradación, mejoran su calidad y biodiversidad, contribuyen al buen uso de los recursos naturales agua y aire.

3.5.3 Prácticas de manejo

Para preservar la productividad de la agricultura, se requieren sistemas sostenibles de producción de alimentos. La sostenibilidad se puede alcanzar mediante prácticas de cultivo basadas en el conocimiento adecuado y profundo de los procesos ecológicos que suceden tanto en las parcelas de producción como en el contexto de las cuales ellas son parte. Con estas bases podemos enfocarnos hacia los cambios sociales y económicos que promueven la sostenibilidad en todos los sectores del sistema alimentario (Gliessman, 2002).

Las prácticas deben basarse en (Condiza, 1998): 1) Manejo y conservación de los suelos; 2) Fertilización con abonos orgánicos y minerales; 3) Reservas de agua

de lluvia y conservación de manantiales; 4) Implantación de cultivos asociados; 5) Utilización del área de cultivo por niveles; 6) Técnicas de Riego, construcción de aparatos; 7) Control Biológico de plagas y enfermedades; 8) Manejo post-cosecha y 9) Mercado y comercialización justa.

El manejo sostenible puede, por lo tanto, significar distintas cosas según la función principal del recurso o del momento histórico en que se hace una evaluación. El desarrollo agrícola sostenible abarca las tres vertientes (social, económica y ambiental). No parece posible optimizar simultáneamente cada uno de los tres componentes de la definición anterior, lo más conveniente es definir ciertos límites aceptables para cada uno de ellos y optimizar primero uno, procurando que la intensidad de los otros dos se ubique en el límite aceptable para ese momento y condición particulares. Con el transcurso del tiempo, los tres objetivos deberían ir acercándose a los óptimos ideales para cada uno de los tres componentes (Bautista, 2004).

3.6 Manejo del recurso suelo

La mayoría de procesos que ocurren en los agroecosistemas tienen al suelo como el centro regulador crítico; en esta percepción confluyen aspectos ligados con su vulnerabilidad, con su lenta formación y renovación y con el reconocimiento de los múltiples servicios que presta el suelo al ser humano; el suelo contiene no sólo una proporción grande de la biodiversidad de la tierra sino también proporciona el substrato físico para la mayoría de las actividades humanas resultando un componente crítico de la biosfera (Labrador, 2008).

El estudio del suelo ha estado ligado tradicionalmente a las necesidades de la agronomía, por lo que no nos debe extrañar que su concepción y su proyección posterior en la gerencia agrícola hayan tenido una aplicación mayoritariamente productivista. Aumentar los rendimientos agrícolas era el primer objetivo que guiaba

el manejo del suelo en un modelo agrario basado en principios similares a los de cualquier actividad industrial (Labrador, 2008).

El suelo es un sistema dinámico en donde ocurren complejas interrelaciones entre sus componentes físicos, químicos y biológicos. Está compuesto por minerales, materia orgánica en descomposición, agua, aire y seres vivos (Luzuriaga, 2001; Olivera, 2001).

Esté recurso es una capa delgada que se ha formado lentamente. Las características de cada suelo dependen de varios factores. Los más importantes son el tipo de roca que los originó, su antigüedad, el relieve, el clima, la vegetación y los animales que viven en él. Además de las modificaciones causadas por la actividad humana. El tamaño de las partículas minerales que forman el suelo determina sus propiedades físicas: textura, estructura, capacidad de drenaje del agua y aireación. Los gránulos son más grandes en los suelos arenosos. Estos son sueltos y se trabajan con facilidad, pero los surcos se desmoronan y el agua se infiltra rápidamente. Tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables para las plantas. Los suelos limosos tienen gránulos de tamaño intermedio, son pesados y con pocos nutrientes. Los suelos arcillosos están formados por partículas muy pequeñas. Son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Al secarse se endurecen y forman terrones. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos. Los suelos francos son mezcla de arena, limo y arcilla. Son fértiles y al secarse forman pequeños terrones que se deshacen. Este suelo es fácil de trabajar y con buenas reservas de nutrientes. Mantiene la humedad a pesar de drenar libremente (FAO, 1996).

Las propiedades químicas del suelo dependen de la proporción de los distintos minerales y sustancias orgánicas que lo componen. El contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio debe ser abundante y equilibrado. La materia orgánica siempre contiene carbono, oxígeno e hidrógeno, además de otros elementos. Al despedazar y descomponer las plantas y animales muertos, los

microorganismos liberan los nutrientes permitiendo que puedan ser utilizados nuevamente. Los nutrientes que las plantas requieren en mayores cantidades se llaman nutrientes *principales*, son: el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Un suelo es *fértil* cuando tiene los nutrientes necesarios para que las plantas se desarrollen bien. Además, cuando su consistencia y profundidad permiten un buen desarrollo y fijación de las raíces; es capaz de absorber y retener el agua, conservándola disponible para que las plantas la utilicen; está suficientemente aireado; y, no contiene sustancias tóxicas. Las propiedades físicas y químicas del suelo, sumadas a los factores climáticos, determinan las plantas y animales que pueden desarrollarse y la forma en que se debe cultivar la tierra (FAO, 1996).

El suelo puede ser considerado un recurso no renovable, pues su formación es un proceso muy lento. Un suelo agrícola productivo está lleno de vida, con millones de organismos que interactúan química y físicamente con su entorno. Estos procesos regulan la liberación de nutrientes, de minerales y materia orgánica para alimentar a las plantas, así como la capacidad de adaptación de los cultivos a los riesgos inherentes a cualquier sistema agrícola, que son generalmente más simples e inestables que los ecosistemas naturales. Debemos tener siempre presente que una producción ecológica responsable comienza por el mejoramiento del suelo (Asociación ETC, 2007).

En esta investigación, se entenderá como manejo del suelo al conjunto de acciones para el uso de los bienes y servicios proveniente de los recursos naturales, sociales y materiales, considerando las características del medio en el cual interactúan (Urquiza, 2011). Los sistemas de manejo de los suelos, son el uso eficiente del suelo a través de prácticas o técnicas para la producción de una determinada especie vegetal. El uso eficiente y sostenible del recurso suelo permitirá revertir las consecuencias negativas sobre éste (Perales, 2009).

3.6.1 Manejo convencional del suelo

En la agricultura convencional el suelo es frecuentemente considerado sólo como un substrato que proporciona apoyo físico, agua y nutrientes a las plantas y se asume que los agricultores deben suplementar todas las necesidades de la planta, tales como nutrientes, protección y agua, con insumos provenientes del externo de ese sistema: si un suelo es deficiente en algún nutriente, se aplican fertilizantes; si un suelo no almacena suficiente agua de lluvia, se proporciona riego; si un suelo se compacta demasiado y el agua no penetra, se usan implementos como el arado; y si ocurre alguna enfermedad o plaga, se aplican pesticidas.

Alguna de estas prácticas puede ser necesaria bajo condiciones específicas y con planificación, supervisión y manejo adecuados. Sin embargo, algunas prácticas de uso común pueden conducir a serios problemas para el ser humano y el ambiente. Es muy común encontrar diferentes grados de artificialización de la agricultura que pueden llegar a ser excesivos o inadecuados. El uso indiscriminado de agroquímicos y el uso excesivo de maquinaria son prácticas que influyen en el impacto al sistema.

3.6.1.1 Uso de maquinaria

La maquinaria agrícola se proyecta para laboreo del terreno y para hacerlo más adaptable al crecimiento de las plantas, para sembrar, para aplicaciones de sustancias químicas (protección contra enfermedades y pestes) y para recolectar y almacenar las cosechas maduras. Hay una gran variedad de máquinas agrícolas y casi todas tienen engranajes, cadenas, correas, cuchillas, levas, etc. (UCYMAT, 2010).

Varias son las funciones que cumple el suelo y que afectan directamente el desarrollo de las plantas, sin embargo cinco son los factores directamente relacionados al uso de maquinaria agrícola que es importante considerar al momento

de decidir su uso. Estos factores son la estructura del suelo, la aireación del suelo, compactación, humedad y materia orgánica (Arias, 2001).

Los grupos mayores de máquinas agrícolas son: máquinas para labrar el terreno, máquinas para sembrar y plantar, máquinas para cultivar, máquinas para cosechar, para transporte y elevación, para aplicación de sustancias químicas y para clasificar y empacar (UCYMAT, 2010).

De acuerdo con Peralvo (2010) algunos de los problemas que se ven reflejados por la mecanización agrícola son los siguientes: 1) degradación y erosión de los suelos; 2) contaminación y pérdida de la diversidad biológica; 3) altos costos de máquinas y equipos; 4) demanda de altos niveles de energización; 5) prácticas culturales insostenibles; 6) exigen un alto capital para inversión y mantenimiento; y 7) desplazamiento de mano de obra rural. El uso excesivo de maquinaria altera la estructura del suelo y del subsuelo y tiende a hacerlo más compacto, lo que a largo plazo hace disminuir los rendimientos (CEPAL, 1986).

Es importante acotar que la mecanización en sí misma no es la que genera impactos ambientales, es el mal manejo de estos equipos en los sistemas productivos. La mecanización se debe desarrollar mediante un proceso de apropiación y adaptación a las condiciones en donde se utilizará la maquinaria. Es importante realizar una correcta selección y uso de los equipos para evitar efectos degradantes en el medio ambiente, especialmente en el suelo (Peralvo, 2010).

3.6.1.2 Uso de agroquímicos

Las sustancias químicas, o sus productos de degradación, siempre tienen un impacto en menor o mayor grado en el ambiente. Dentro de los problemas que pueden presentar las aplicaciones intensivas de agroquímicos están: eliminación de organismos que no son de interés dentro de las aplicaciones (especies no blanco), contaminación de ecosistemas acuáticos, efectos de resistencia de poblaciones de

plagas, entre otros (Liess y Schulz, 1999). En la lucha del hombre con la naturaleza para satisfacer sus necesidades, especialmente alimenticias, la agricultura convencional se ha inclinado por el incremento de los monocultivos, con el fin de lograr una alta producción y un mayor margen de rentabilidad (Ferrera, 2004).

Actualmente no es posible una agricultura con altos rendimientos sin la utilización de medidas de protección de plantas, entre las cuales los plaguicidas siguen teniendo una participación considerable, aunque los enfoques han cambiado significativamente. Si bien los plaguicidas ayudan a producir alimentos y fibras de manera más fácil, abundante, económica y eficiente, su uso intensivo y desmedido ha traído como consecuencia resultados bastante contradictorios. Por un lado, el uso de fitosanitarios o agroquímicos tóxicos han contribuido a incrementar la disponibilidad de alimentos, pero por otro lado, aún están causando efectos perjudiciales para el medio ambiente, la salud pública y los enemigos naturales (Ferrera, 2004).

La agricultura convencional tiene la tendencia de hacer un uso indiscriminado de estos productos. Los agroquímicos contaminan el suelo y el agua, la materia orgánica se escurre de la tierra erosionando el suelo al tiempo que la diversidad de flora y fauna disminuye (González *et al.*, 2007).

Uno de los grandes problemas que pueden observarse en el suelo, es la presencia de metales pesados como contaminantes, esto puede deberse a distintos factores. Los “metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). No obstante, en primer lugar, conviene aclarar que el término “metales pesados” es impreciso. En realidad se pretende indicar con este término aquellos metales que, siendo elementos pesados, son “tóxicos” para la célula. Sin embargo, en realidad cualquier elemento que a priori es benéfico para la célula, en concentraciones excesivas puede llegar a ser tóxico. Por tanto se seguirá manteniendo el término

“metales pesados” para definir dichos elementos (Navarro *et al.*, 2007).

Finalmente, Sánchez (2003), menciona que la presencia de estos en el suelo puede tener dos orígenes: natural y antropogénico. Es así como la presencia de estos en el suelo, no se debe exclusivamente al uso de agroquímicos o al tipo de agua de riego.

3.6.1.3 Uso del riego

El uso del riego en la agricultura es una práctica antigua, desarrollada con la finalidad de proveer una cantidad adecuada de agua para el correcto desarrollo de los cultivos y permitir así la producción de alimentos en la época seca, en la cual no existen lluvias frecuentes. El agua es tan importante para la agricultura debido a que crea una solución en el suelo en la cual se encuentran disueltos los nutrientes y mediante la absorción efectuada por sus raíces, las plantas logran acceder a estos (Sánchez, 2013).

Aunque la irrigación es una herramienta agronómica y tal vez económicamente viable, es importante mencionar que un abuso en su uso puede causar severos daños ambientales, tales como la erosión y la salinización del suelo, ocasionados por el arrastre que ejerce el agua sobre la superficie, y a la utilización de agua de riego con altos contenidos de sales, respectivamente. El uso excesivo de este recurso para este fin puede afectar los ciclos químicos y biológicos del cuerpo de agua del cual está siendo extraído, pudiendo causar alteraciones que muchas veces son irreversibles. Existen muchas formas de realizar irrigación, las cuales difieren en su costo, eficiencia, facilidad de uso, entre otras. Para mencionar algunas, riego por gravedad o inundación, riego por goteo, aspersión y microaspersión, los cuales son utilizados en una amplia gama de cultivos (Sánchez, 2013).

El productor que realiza agricultura de riego requiere un mínimo de recursos naturales, humanos y materiales para poder realizar el proceso productivo en el

espacio hidráulico. Es a partir de la cantidad y calidad de cada recurso como organiza sus actividades económicas, principalmente la agrícola, que en este caso depende mucho del agua disponible para el riego (Ocampo, 2004).

Es en este estilo de agricultura donde el uso de maquinaria, la aplicación de agroquímicos y el uso del riego son técnicas que se ven implementadas necesariamente para poder conseguir los objetivos de producción, donde en muchos casos se pierde de vista ese balance entre los impactos ambientales y los objetivos. Es en esta situación donde el recurso suelo se ve afectado por la erosión, los sistemas de cultivos implantados no adecuados a la capacidad agronómica de cada suelo, el uso de determinados agroquímicos, la contaminación y la compactación provocada por el uso de maquinaria pesada.

3.6.2 Manejo agroecológico del suelo

Algunos de los principios de la agroecología sobre el manejo del suelo, son la incorporación de biomasa y materia orgánica al suelo, la protección del mismo de las altas temperaturas y de la erosión mediante el *mulching*, las cubiertas vegetales, etc., y el fomento de la biodiversidad de un suelo sano (Pretty, 1995; Altieri *et al.*, 2000 citado en Vía Campesina, 2011).

Nario *et al.* (2001) menciona que la gestión adecuada de los suelos, está relacionado al manejo de la cobertura y residuos vegetales, a la biodiversidad y rotación de cultivos, a la práctica de la fertilización y a los sistemas de labranza y riego.

Para el técnico, el estudio de un suelo se realiza a través de la descripción de un perfil y la denominación de horizontes, mientras que el productor lo hace observando y comparando su comportamiento en el tiempo. De tal manera que para entender la caracterización campesina de un suelo o tierra, es necesario ubicarse en

su contexto (Abasolo, 2011).

3.6.2.1 Prácticas campesinas

En la medida que se hace más investigación, muchas de las prácticas agrícolas campesinas que antes fueran consideradas mal guiadas o primitivas, están siendo reconocidas como sofisticadas y apropiadas. Confrontados con problemas específicos de pendientes en declive, inundación, sequía, plagas y enfermedades, baja fertilidad de suelos, etc., los pequeños agricultores a lo largo del mundo han desarrollado sistemas originales de manejo dirigidos a superar estas limitantes (Altieri, 1991).

En general, los agricultores tradicionales han satisfecho los requisitos ambientales de sus sistemas de producción concentrándose en algunos principios y procesos (Knight, 1980):

- a) Mantenimiento de la diversidad y la continuidad temporal y espacial. Diseños de cultivos múltiples son adaptados para asegurar la producción constante de alimentos y una cubierta vegetal para la protección del suelo. Una secuencia continua de sistemas de cultivos permite además la mantención de una serie de interacciones bióticas (complejos predador-presa, fijación de nitrógeno, etc.) que pueden beneficiar al agricultor.
- b) Utilización óptima de recursos y espacio. El agrupamiento de plantas con distintos hábitos de crecimiento, follajes, estructuras radiculares, etc., permiten una mejor utilización de los factores ambientales tales como nutrientes, agua y radiación solar.
- c) Reciclaje de nutrientes. Los pequeños agricultores mantienen la fertilidad de los suelos cerrando los ciclos de nutrientes, energía, agua y desechos. Así, muchos agricultores enriquecen sus suelos juntando materiales y nutrientes (abonos orgánicos, desperdicios forestales, etc.) en zonas adyacentes a sus predios o

adoptando sistemas de rotación o barbecho y/o incluyendo leguminosas en sus policultivos.

- d) Conservación y/o manejo de agua. En áreas de secano la distribución y cantidad de las lluvias son los determinantes más importantes de los sistemas de cultivos, por lo tanto los agricultores adoptan patrones de cultivos adaptados a la cantidad y distribución de las lluvias.
- e) Control de la sucesión y provisión de protección de cultivos. Los agricultores han desarrollado un número considerable de estrategias para cautelar la invasión y competencia de organismos no deseados. Ciertas mezclas de varias especies de cultivos confieren protección contra insectos-plagas o ataques de enfermedades. Ciertos policultivos con follajes complejos pueden suprimir efectivamente el crecimiento de malezas y minimizar la necesidad de su control. Los agricultores han desarrollado además un número de prácticas culturales que incluyen cambios en la época y densidad de siembra, el uso de variedades resistentes, el uso de insecticidas botánicos y/o repelentes para minimizar la incidencia de plagas.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Caracterización del área de estudio

El estudio se realizó en la comunidad Cacaloxúchitl de Ayala en el municipio de Huaquechula, Puebla. Se localiza en la parte centro oriente del estado, en las coordenadas 18° 47' 13" Norte, 99° 30' 48" Este (Figura 5). La zona de estudio se caracteriza por presentar una explotación intensa en el uso del suelo, con un alto nivel tecnológico y diversidad de cultivos (INEGI, 1994).

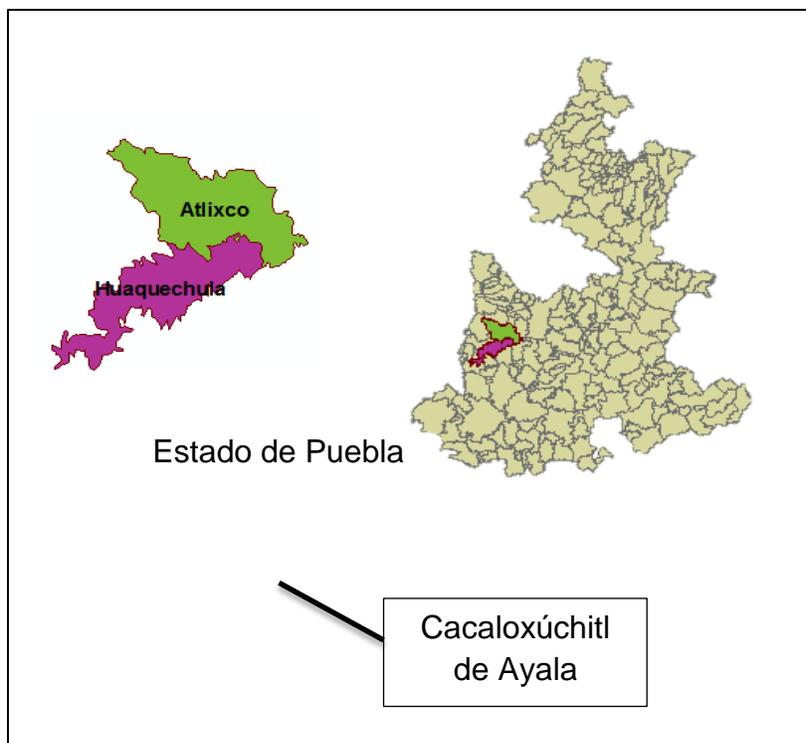


Figura 5. Localización de la comunidad Cacaloxúchitl de Ayala

Fuente: Elaboración por la investigadora a partir de información de INEGI, 2010.

Para tener una mejor comprensión sobre el tipo de región donde se realizó el estudio, se muestran las Figuras 6 y 7, donde se describe el clima y tipo de suelo presentes en la zona.

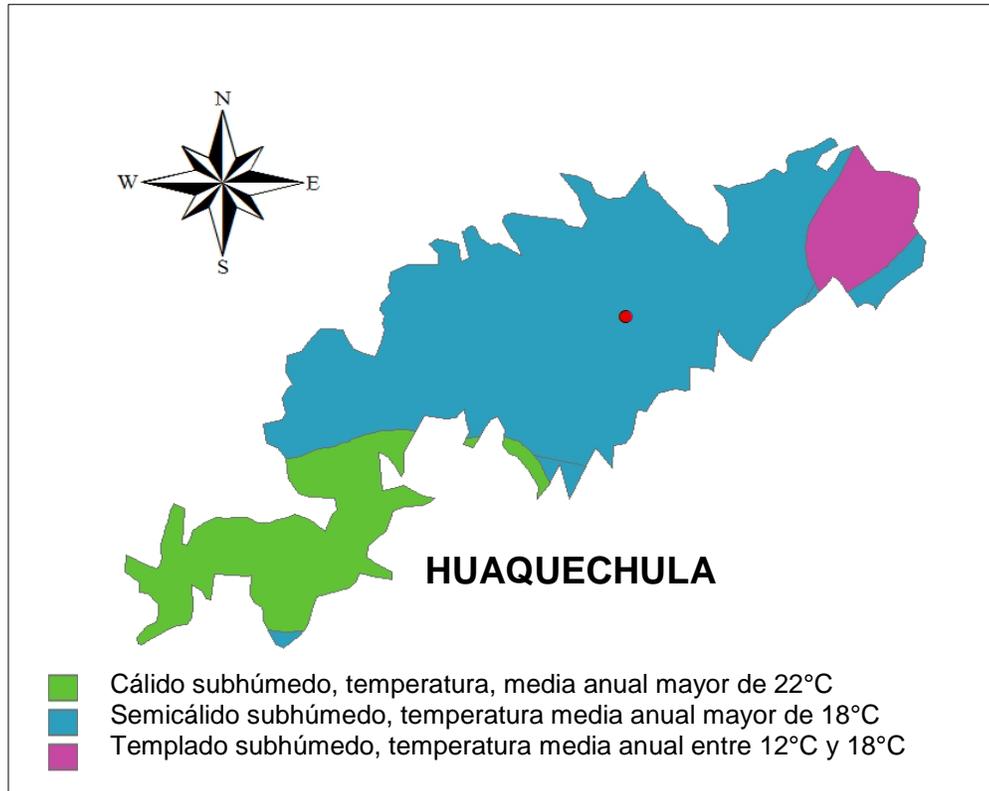


Figura 6. Clima en la zona de estudio

Fuente: Elaboración por la investigadora a partir de información de INEGI, 2010.

El municipio de Huaquechula presenta un clima semicálido subhúmedo, lo que hace factible la gran actividad agrícola. Una temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor a 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5 % al 10.2 % del total anual (García, 1998).

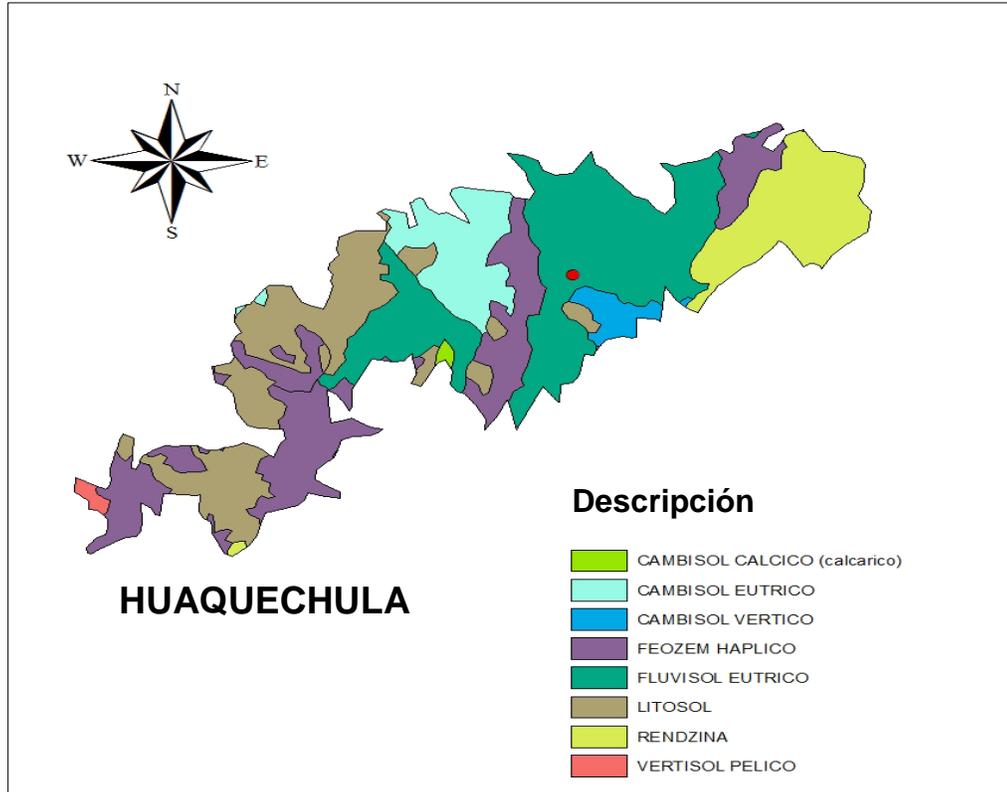


Figura 7. Tipo de suelo en la zona de estudio

Fuente: Elaboración por la investigadora a partir de información de INEGI, 2010.

De acuerdo con la clasificación de suelos de INEGI, Cacaloxúchitl de Ayala presenta un suelo de tipo fluvisol eútrico. De acuerdo con la FAO (2006), son suelos azonales genéticamente jóvenes, en depósitos aluviales. El nombre fluvisoles puede ser confuso en el sentido de que estos suelos no están confinados sólo a los sedimentos de ríos (latín fluvius, río); también pueden ocurrir en depósitos lacustres y marinos. Son de fácil manejo, este tipo de suelo necesita fertilización y son arenosos, ligeros de textura gruesa. De manera más específica un suelo de tipo fluvisol eútrico, tiene una presencia de nutrientes moderados o altos, son muy permeables, con textura media (francos).

4.2 Técnicas de Investigación

El enfoque teórico agroecológico recomienda utilizar métodos y técnicas cuantitativas y cualitativas para recoger la información necesaria y suficiente para cumplir con los objetivos, desde una perspectiva de sostenibilidad. Para la parte técnica del manejo del suelo: análisis de calidad del suelo y agua, apariencia del suelo y producción de los sistemas de manejo, se utilizó la experimentación con un diseño de cuasi-experimento (técnica cuantitativa). La información del proceso socio-económico sobre el manejo del suelo se captó con la encuesta (técnica cuantitativa) y la observación directa (técnica cualitativa).

Es una investigación de análisis comparativo, ya que se analizaron tres sistemas con dos tipos de fuentes de agua para el riego, lo que permitió conocer las prácticas realizadas en cada sistema y cómo es que estas particularidades afectan la calidad del suelo. El estudio transversal, que indicará la situación actual de cada sistema, dándonos un referente de sus cambios en el tiempo. Es un trabajo de tipo prospectivo; primero se planifica, luego se recolecta la información. Finalmente es una investigación tipo observacional, ya que lo que se estudia no es controlado por el investigador (Kish, 1995). De acuerdo con los criterios Méndez *et al.* (1990), la interferencia, el periodo, la evolución y la comparación que describen a la investigación, la definen como de tipo encuesta comparativa.

Diseño experimental

El diseño de esta investigación fue un cuasi-experimento. El término "cuasi-experimento" se refiere a diseños de investigación experimentales en los cuales los sujetos o grupos de sujetos de estudio no están asignados aleatoriamente. Los diseños cuasi-experimentales más usados siguen la misma lógica e involucran la comparación de los grupos de tratamiento y control como en las pruebas aleatorias. En otros diseños, el grupo de tratamiento sirve como su propio control (se compara el "antes" con el "después") (Rossi y Freeman, 1993).

Aunque los cuasi-experimentos son más vulnerables a las amenazas a la validez que las pruebas aleatorias, no requieren asignaciones aleatorias a los grupos experimentales y por eso son generalmente más factibles que las pruebas aleatorias. En el caso de esta investigación se utilizaron un conjunto de procedimientos de investigación enfocados a la evaluación del impacto de las prácticas agrícolas en el suelo en diferentes cultivos, en este caso la asignación de las unidades no es al azar, ya que la región de estudio así como los productores con los que se trabajó se eligieron de acuerdo a las facilidades para poder obtener la información, y con base en el deseo de participar en la investigación. Se trabajó con un grupo de ejidatarios los cuales aceptaron que sus parcelas fueran monitoreadas para obtener la información con respecto al sistema de manejo del suelo.

4.2.1 Muestreo en campo

Para este trabajo la muestra fue dirigida a una comunidad específica y a un grupo de productores determinados, ya que se contaba con los medios para poder acceder a ellos y de esta forma poder obtener la información necesaria, por lo que se trata de un muestro no probabilístico. En este caso la elección de los individuos no depende de la probabilidad, sino de las condiciones que permiten hacer el muestreo. En general se seleccionan a los sujetos siguiendo determinados criterios procurando, en la medida de lo posible, que la muestra sea representativa.

El tipo de muestreo que se aplicó es el muestreo intencional o de conveniencia. En este caso se seleccionó directa e intencionadamente los individuos de la población, se utilizó como muestra los individuos a los que se tiene fácil acceso. Se efectuó para la selección de los sistemas evaluados. Para complementar la investigación con información correspondiente a los aspectos social y económico, se eligieron al azar las personas que fueron encuestadas.

Unidad de Muestreo

El enfoque agroecológico toma como unidad de estudio el agroecosistema, por lo que se seleccionaron sistemas con diferentes cultivos donde se identificaron las diferentes prácticas que conforman el manejo en cada uno, y se realizaron estudios de calidad del suelo y agua. Otro aspecto considerado en la evaluación del estado de manejo del suelo, fue la apariencia de los cultivos. Así mismo, se aplicaron encuestas a los productores de los diferentes agroecosistemas para conocer las prácticas que integran sus sistemas de manejo, y los efectos que han observado durante el tiempo.

Marco de muestreo

Los sitios de los muestreos se seleccionaron por zonas, después de haber recorrido y delimitado el área de interés. En promedio cada productor tiene 2 hectáreas, aunque también hay quien tiene de 8 a 10 hectáreas. En esta zona existe riego con agua superficial (residual) y con agua de pozo.

Considerando el objetivo del trabajo: “evaluar el sistema de manejo del recurso suelo”, se realizó una comparación entre tres agroecosistemas encontrados en el sitio seleccionado, y se tomó un sistema testigo para las pruebas de suelo. Para la selección de los cultivos se consideraron: la importancia en la zona, forma de manejo del suelo, y los efectos que producen en el recurso suelo, resultando seleccionados: alfalfa (*Medicago sativa*), calabacita (*Cucúrbita pepo*) y gladiola (*Gladiolus spp*).

Se seleccionaron 2 parcelas de cada cultivo; una con riego de agua residual y otro con riego de agua de pozo. Para cada uno de los predios evaluados se tomó una repetición, es decir, se tomaron 2 parcelas para cada sistema con las mismas características. En total se trabajó con 13 parcelas como se menciona en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Agroecosistemas evaluados por sistema de riego

Parcela	Parcelas	
Alfalfa	Riego con agua residual (1)	Riego con pozo (1)
	Riego con agua residual (2)	Riego con pozo (2)
Calabacita	Riego con agua residual (1)	Riego con pozo (1)
	Riego con agua residual (2)	Riego con pozo (2)
Gladiola	Riego con agua residual (1)	Riego con pozo (1)
	Riego con agua residual (2)	Riego con pozo (2)
Parcela testigo		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014

Con respecto al tamaño de cada parcela, se estableció que sería con base a las características establecidas para cada sistema. Para cada parcela se obtuvo la información sobre su historial de manejo en ciclos anteriores.

Las parcelas de calabacita y gladiola se monitorearon durante un ciclo de producción y para la alfalfa (cultivo perenne) se consideró un periodo de 6 meses. Los análisis de suelo se realizaron después de cosechar el cultivo. El testigo, fue una parcela sin manejo durante los últimos 5 años.

Toma de muestras en suelo y agua

Previo al muestreo, y después de una inspección de las parcelas y una conversación con los propietarios, se preparó un croquis del lote en el que se delimitan áreas con cierto grado de uniformidad. Para la toma de muestras del suelo, el terreno se dividió en secciones con características edáficas homogéneas, en textura, fertilidad, color, profundidad de suelo, etc. Las parcelas de muestreo se consideraron como homogéneas por lo que se procedió a tomar muestras compuestas de cada parcela.

Se tomaron 15 submuestras por parcela de manera sistemática “zigzag” (Figura 8), a una profundidad de 30 cm. (con pala), para después formar una

muestra compuesta representativa. Las muestras recolectadas fueron de aproximadamente 2 kg. Se tomó esta cantidad para asegurar que una vez tamizada la muestra se tuvieran la cantidad necesaria para su análisis en laboratorio. El muestreo se llevó de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Figura 8).

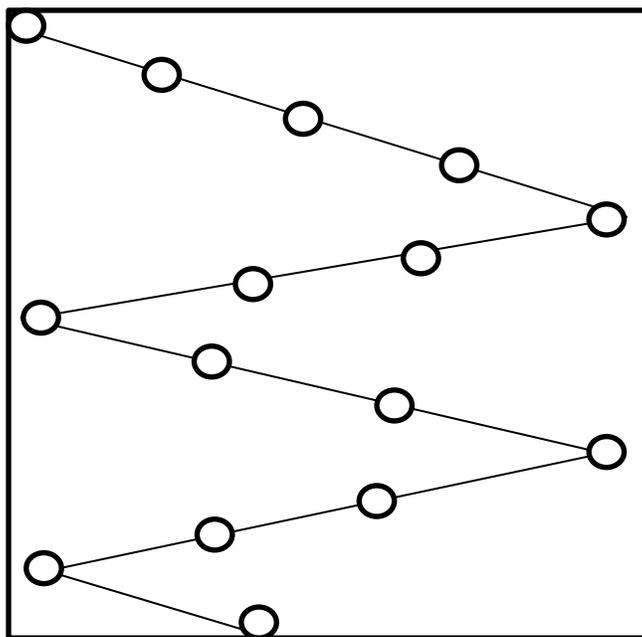


Figura 8. Croquis de muestreo en las parcelas

Fuente. Elaboración propia.

Las muestras se colectaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas para después llevarse al laboratorio del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, para los respectivos análisis en los laboratorios de Fertilidad de Suelos y Nutrición.

Como parte complementaria de esta investigación, se tomaron muestras de las fuentes de agua con las que riegan las parcelas monitoreadas (Figura 9). Se tomaron muestra de 6 pozos profundos y el canal que conduce el agua residual. Se utilizó la NOM-230-SSA1-2002.

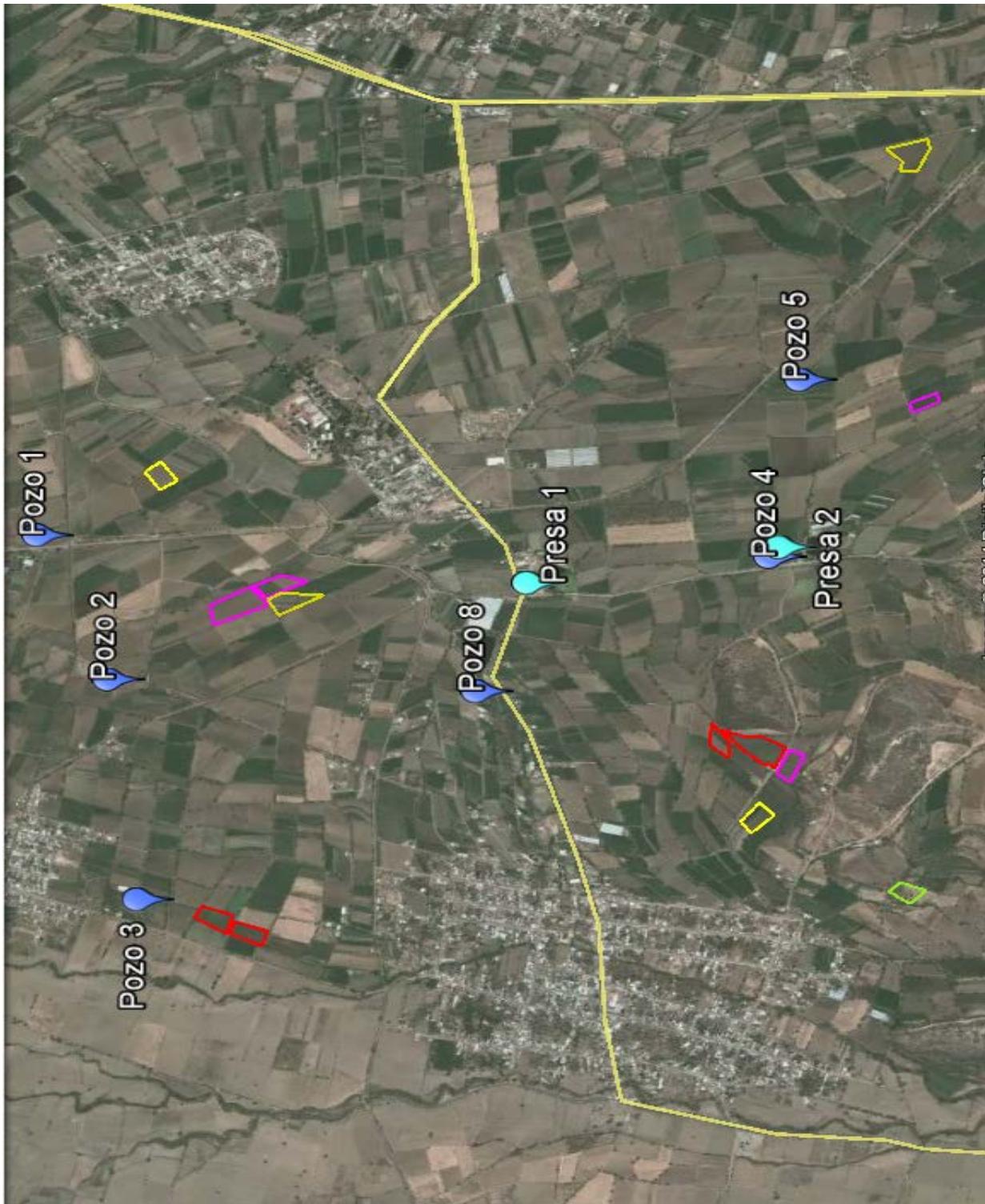


Figura 9. Localización de las parcelas y de las fuentes de agua en Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

4.2.2 La encuesta

La encuesta nos permite obtener información sobre un problema o un aspecto de éste, a través de una serie de preguntas previamente establecidas, dirigidas a las personas implicadas en el tema del estudio (Oncins, 1999).

La encuesta se aplicó mediante la entrevista personal a través de un cuestionario semiestructurado con preguntas cerradas y abiertas. Se aplicaron 45 encuestas a productores de gladiola, calabacita y alfalfa (15 de cada uno). La encuesta permitió recoger información respecto a las características del productor, las características de la parcela, disponibilidad de maquinaria y equipo, características del riego, otras actividades de la familia, otros cultivos manejados y su percepción sobre la calidad del suelo.

4.2.3 Observación directa

Los métodos de observación son útiles a los investigadores en una variedad de formas. Proporcionan a los investigadores métodos para revisar expresiones no verbales de sentimientos, determinan quién interactúa con quién, permiten comprender cómo los participantes se comunican entre ellos, y verifican cuánto tiempo se está gastando en determinadas actividades (Schmuck, 1997). La observación permite a los investigadores verificar definiciones de los términos que los participantes usan en entrevistas, observar eventos que los informantes no pueden o no quieren compartir porque el hacerlo sería impropio, descortés o insensible, y observar situaciones que los informantes han descrito en entrevistas, y de este modo advertirles sobre distorsiones o imprecisiones en la descripción proporcionada por estos informantes (Marshall y Rossman, 1995).

En esta investigación la observación permitió conocer las diferentes prácticas que realizan los productores en sus cultivos y el manejo del suelo.

4.3 Indicadores

La calidad de los suelos se define tomando en cuenta sus propiedades intrínsecas, así como su capacidad productiva y de amortiguadores ambientales. De acuerdo con Astier *et al.* (2002) se considera un marco para obtener indicadores de calidad de suelos, que parte de:

- a) Utilizar tres atributos ambientales de sustentabilidad, productividad, resiliencia y estabilidad;
- b) Caracterizar el sistema de manejo, en términos de escalas espacial y temporal del análisis;
- c) Identificar los puntos críticos en el agroecosistema.

Siguiendo estos tres puntos se obtiene un marco conciso y coherente para la medición de calidad de suelos sin generar largas listas de indicadores. Para el atributo productividad, se seleccionaron indicadores relacionados con los rendimientos de cultivos; para los atributos estabilidad y resiliencia, se seleccionaron indicadores edáficos asociados con las propiedades biológicas, químicas y físicas y con la erosión de los suelos (Astier *et al.*, 2002).

La sostenibilidad se refleja no solamente en los aspectos ambientales de calidad del recurso, debemos considerar también indicadores sociales y económicos, para realizar un análisis integral del estado de sostenibilidad del sistema de manejo del suelo que realizan los productores, en este caso de Cacaloxúchitl de Ayala.

Los indicadores para conocer la calidad del suelo y apariencia del cultivo en los diferentes sistemas de manejo, deben tener un valor cuantitativo dentro de una escala asignada con el fin de obtener promedios de los aspectos a analizar y poder comparar los valores entre los sistemas seleccionados. Ésta investigación utilizó índices que reunieron las diferentes dimensiones que marca la sostenibilidad, sin perder de vista la evaluación del sistema de manejo de suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Indicadores para la evaluación de la sostenibilidad del suelo

Suelo	Cultivo	Socio – Económicos
Macrofauna	Biodiversidad de cultivos	Biomasa
Calidad de suelo de acuerdo a la contaminación por: Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, V y Ti	Vegetación natural en el agroecosistema	Necesidad de mano de obra contratada
Materia orgánica	Aspecto	R B/C
Determinación de propiedades fisicoquímicas: N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Na, pH, Textura, Conductividad eléctrica, Capacidad de intercambio catiónico	Manejo de plagas y enfermedades (cantidad de agroquímicos)	Posibilidades o dificultades para comercializar
Tiempo de infiltración	Fertilización (cantidad de agroquímicos)	Independencia de agroquímicos
Uso de tractor		Capacitación
Uso de yunta		Costo por manejo de suelo

Fuente: Elaborada por la investigadora, 2013

Se tomaron elementos de tres metodologías que evalúan el nivel de sostenibilidad del agroecosistema para conocer la calidad del suelo y la transición hacia una agricultura ecológica:

- 1) MESMIS (Maserá *et al.*, 1999)
- 2) Sistema Agroecológico Rápido de Evaluación de Calidad de Suelo y Salud de Cultivos (Pérez, 2007)
- 3) Evaluación del Proceso de Conversión a Agricultura Ecológica (Guanche, 2012).

Para medir calidad del agua y suelo se realizaron análisis de laboratorio para conocer propiedades físico-químicas y contaminación. Se consideró importante ver la relación entre la calidad del agua con la que se riega y las propiedades que presenta

el suelo, por esta razón se analizaron las siguientes propiedades del agua de los distintos puntos de riego de las parcelas:

6 pozos y un canal de agua residual

- a) pH y CE
- b) K, Ca, Mg, Na solubles
- c) CO_3 , HCO_3 , Cl, NO_3 , SO_4
- d) Fe, Cu, Mn, Zn solubles
- e) Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, V y Ti (Contaminación)

La cuantificación de macrofauna se hizo *in situ* contando los organismos existentes en un metro cuadrado, en cinco puntos aleatorios de la parcela. Para medir el tiempo de infiltración del agua, se obtuvieron 5 muestras aleatorias de la parcela y en probetas de 1 litro se hizo la medición. Se trabajó con los datos expresados por los productores (información primaria). Se identificaron indicadores a nivel de unidad familiar (explotación o predio), el tipo de agricultura (prácticas de manejo) y comunidad –ejido (productores).

4.4 Organización y análisis de la información

La información se generó a partir de 45 encuestas a productores, el análisis de laboratorio de 13 muestras de suelo y 7 muestras de agua y el seguimiento a 12 parcelas (alfalfa, calabacita y gladiola). Los datos obtenidos de las encuestas se ordenaron en una base de datos de Excel y se analizaron en el programa estadístico SPSS, y se elaboraron gráficos y cuadros para su mejor interpretación. Los resultados de laboratorio de las muestras de suelo y agua, también se organizaron en una primera fase en Excel y se realizaron pruebas estadísticas en SPSS.

La información obtenida de las 12 parcelas se organizó para describir el manejo del de los tres agroecosistemas y generar datos para los indicadores. Una vez obtenidos los valores de los diversos indicadores en los agroecosistemas estudiados, se llevó a cabo el análisis multicriterio, el cual consistió en agregar los

diferentes indicadores en una sola representación gráfica. Un punto clave del análisis multicriterio es la elección de los valores de referencia o valores umbrales para cada indicador. Cada indicador se comparó con el resto de los indicadores.

Finalmente los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio de contaminación y calidad del suelo fueron contrastados con los parámetros que marcan las Normas Mexicanas: NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y NOM-021-SEMARNAT-2000, respectivamente.

CAPÍTULO V RESULTADOS

En este apartado se presentan los principales resultados de campo. Primeramente se presentan las características sociales y económicas de los 45 productores entrevistados, los recursos de la unidad familiar, el manejo de los sistemas agrícolas, la tecnología de producción y la percepción del productor sobre el recurso suelo. Finalmente se presentan los resultados de los análisis de suelo y agua.

5.1 Características sociales y económicas de los productores

La edad de los productores (45) fluctúa entre 20 y 76 años (Cuadro 5). La prueba de ANOVA con un nivel de significancia del 95 %, muestra que no hay diferencia entre las edades de los productores y el cultivo que trabajan. De acuerdo con los promedios se puede observar similitud en la edad de los productores que sembraron la calabacita y la gladiola, sin embargo, la diferencia con respecto a los que trabajan la alfalfa no es significativa.

Cuadro 5. Edad de los productores

Parcela	Promedio	Min	Max
Alfalfa	54.9	20	75
Calabacita	51.8	34	69
Gladiola	51.6	31	76
General	52.8	20	76

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Respecto al trabajo femenino, solo en la gladiola el 18.3 % trabajan mujeres, el restante son hombres. Para los otros dos cultivos en su totalidad pertenecen al género masculino (Figura 10). Con respecto al estado civil de los productores en su mayoría son casados (Figura 11).

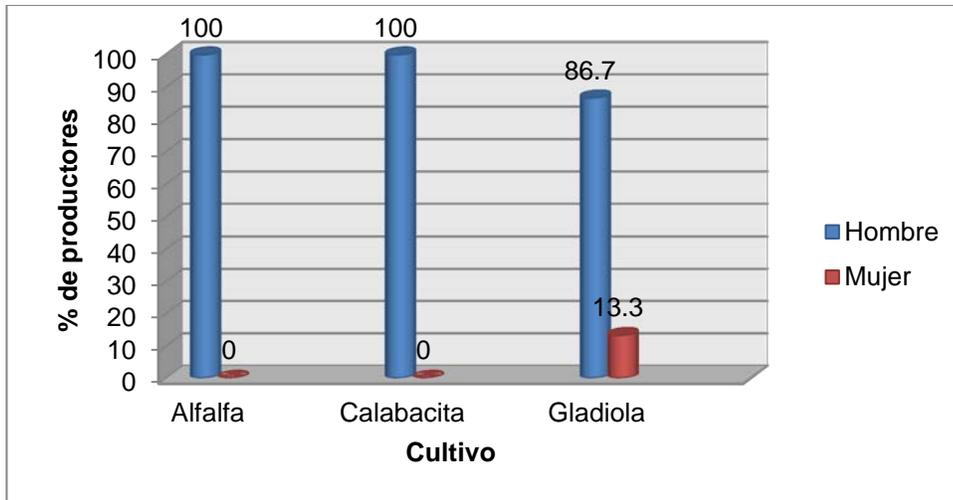


Figura 10. Porcentaje de productores(as) por sexo, según cultivo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

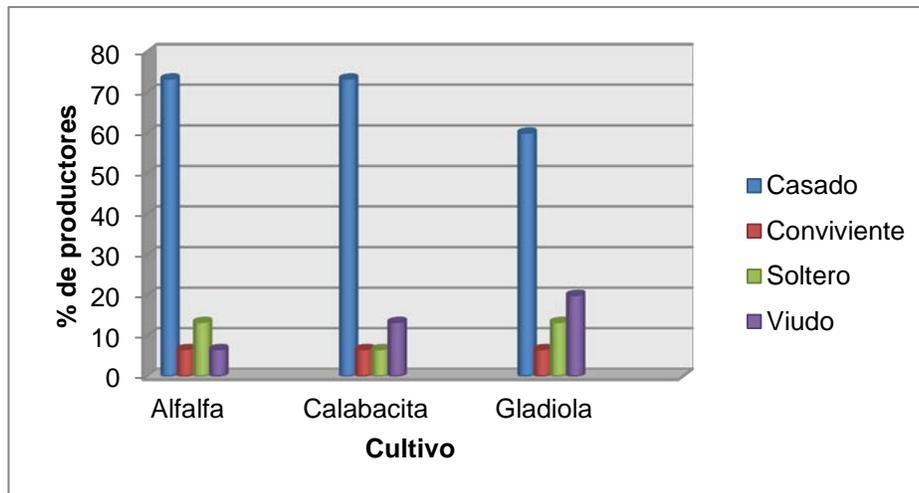


Figura 11. Estado civil de los productores(as), según cultivo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

En la Figura 12 se muestra el nivel de escolaridad de los productores encuestados según el cultivo sembrado el periodo de estudio. De manera general, sólo el 33.3 % terminaron la primaria, 22.2 % terminaron la secundaria y 6.7 % terminaron la preparatoria. 26.7 % no concluyeron la primaria y 11,1 % cursaron un nivel de secundaria.

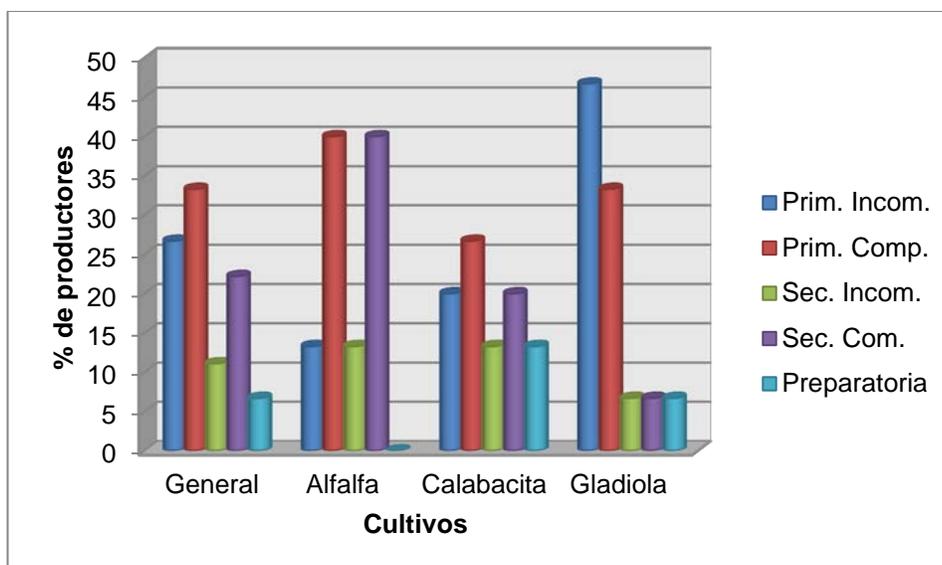


Figura 12. Nivel de escolaridad de los productores(as)

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

En su mayoría (86.7 %), los productores tienen como su ocupación principal la agricultura (agricultor), otro grupo menor (8.9 %) son comerciantes y en menor porcentaje son ganaderos (2.2 %) y obreros (2.2 %). De manera particular se encontraron tres casos en el cultivo de alfalfa que tienen otra ocupación principal, dos casos para calabacita y uno para gladiola. Del total de productores, el 33.3 % tienen una segunda ocupación además de la agricultura.

5.2 Recursos de la unidad familiar

Tierra

Con respecto a la posesión de tierras, el 84b% posee tierras propias. En promedio poseen 2.4 ha, con superficies en propiedad entre 0.25 y 11 ha. La mayor superficie la posee un productor que siembran gladiola (11 ha), y la menor es de 0.25 ha. donde el productor también siembra gladiola (Cuadro 6).

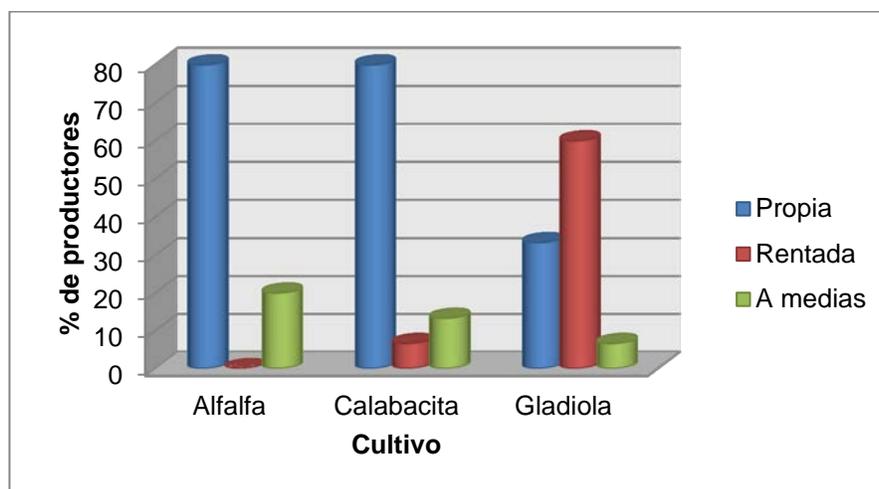
Cuadro 6. Superficie (ha) sembrada por cultivo

	Promedio	Menor	Mayor	Moda
Alfalfa	1.9	0.5	4	2
Gladiola	3.0	0.25	11	2
Calabacita	2.2	1	6	2
General	2.4	0.25	11	2

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Es importante mencionar que esta superficie se siembra de diferentes cultivos, pero para el periodo de estudio sembraron alfalfa, gladiola y calabacita, que además de la parcela propia algunos productores rentaron o tomaron a medias.

De los 38 productores que tienen parcelas propias (84 % del total), el 76.32 % sembraron los cultivos mencionados en las parcelas propias, el 23.68 % restante se decidió por rentar una parcela o trabajarla a medias (Figura 13).

**Figura 13. Estatus de tierras sembradas por cultivo**

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Como se observa en el gráfico, el 80 % de los productores prefieren sembrar en sus parcelas alfalfa o calabacita, y 40 % gladiola. Sin embargo, 60 % de los productores optan por rentar otras parcelas para sembrar gladiola, aun teniendo

parcela propia. Esta decisión está basada en los efectos negativos en el suelo que provoca el cultivo de gladiola.

Agua

Un recurso sumamente importante para el manejo de los cultivos es el agua. La comunidad dispone de agua para riego de pozo profundo y de derivadora (agua residual). El 36 % de los productores riegan con agua de pozo profundo, 24 % con agua residual y 40 % utilizan el agua procedente de las dos fuentes. Las parcelas estudiadas reciben agua del pozo no. 8 y agua superficial (Figura 14).

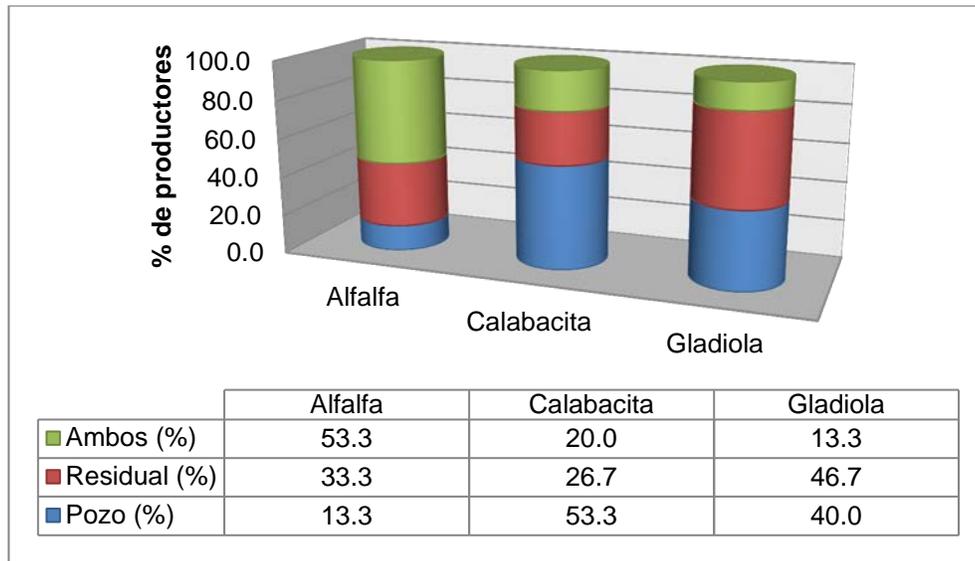


Figura 14. Procedencia del agua de riego

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

El 53.3 % de los productores utilizan ambas fuentes para el riego de alfalfa, 53.3 % riegan la calabacita con agua de pozo profundo y 46.7 % prefieren regar la gladiola con agua residual. En opinión de los productores, para el caso de la gladiola, es preferible regar con agua residual, ya que al regar con agua de pozo, la flor pierde color. En general para los tres cultivos, opinan que el agua de pozo “lava la tierra” y la deja menos apta para los siguientes cultivos. Sin embargo, opinan que no siempre

es mejor regar con el agua residual, ya que en ciertas ocasiones el agua lleva altas concentraciones de “grasas y aceites” que también perjudican los cultivos.

Animales

Entre los animales, se encuentran toros, gallinas, guajolotes, vacas, borregos, burros, caballos y marranos. El 33.3 % de los productores tienen toros (Figura 15), utilizados como fuerza de trabajo para las labores agrícolas además de aportarles abonos.

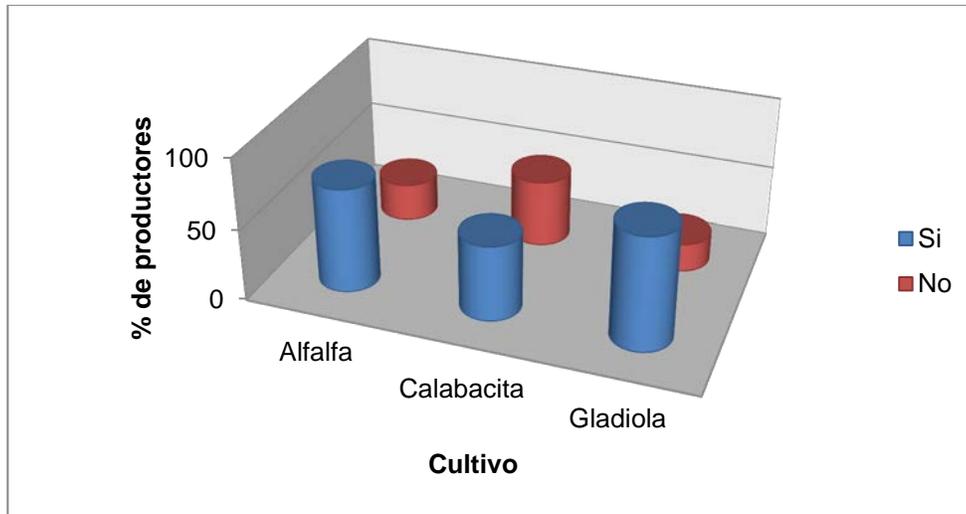


Figura 15. Porcentaje de productores que poseen animales

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Especies de árboles en la parcela

En esta comunidad es común encontrar vegetación arbórea limitando la parcela, que además de proteger los cultivos de vientos, genera beneficios ecológicos y en algunos casos alimentos. En parcelas de alfalfa y calabacita se encuentran en promedio tres especies diferentes de árboles, y en gladiola, dos especies. Principalmente se encuentran: ciruelo, mezquite, guaje, guamúchil, limón, aguacate, cazahuate, guayaba, maracuyá y nopal.

5.3 Manejo de los agroecosistemas

5.3.1 Rotación de cultivos en la parcela

Dentro de la caracterización de los cultivos, es importante conocer qué cultivos se sembraron anteriormente en la parcela. Los productores que sembraron alfalfa, en su mayoría anteriormente sembraron frijol (27 %). La parcela sembrada con alfalfa tuvo mayor variedad de cultivos sembrados en el ciclo anterior. Para el caso de la gladiola y la calabacita, se encontró que el cultivo que más se sembró en el ciclo anterior fue el maíz, sembrado por el 47 % de los productores para cada caso.

Según la percepción de los productores con respecto a los cultivos que consideran más rentables en la zona, 82.2 % mencionaron a gladiola, seguido por el sorgo (53.3 %) y en tercer lugar la calabacita (51.1 %) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cultivos más rentables según los productores

Cultivo	No. de productores que mencionaron el cultivo	Porcentaje
Alfalfa	7	15.6
Cacahuate	1	2.2
Calabacita	23	51.1
Maíz	10	22.2
Sorgo	24	53.3
Jícama	6	13.3
Tomate	2	4.4
Frijol	3	6.7
Gladiola	37	82.2
Ejote	1	2.2

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

La gladiola y el frijol son considerados los cultivos más demandantes de mano de obra, mientras que la alfalfa y el sorgo son los cultivos que requieren menos trabajo, según los productores (Figura 16).

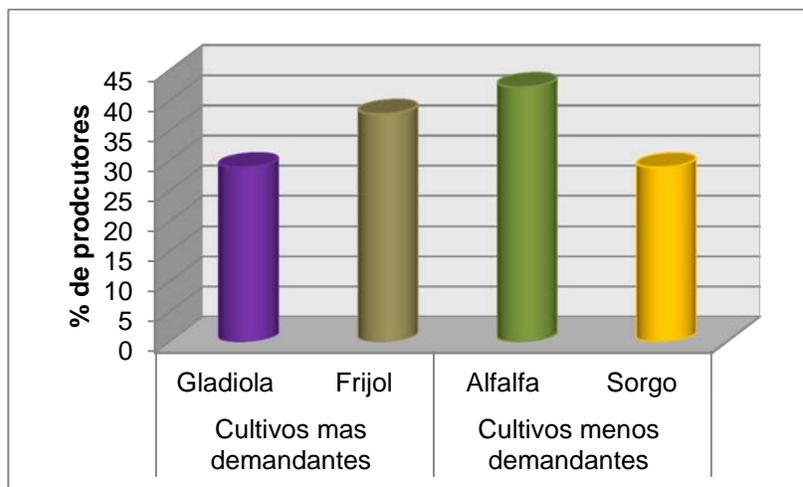


Figura 16. Cultivos y su demanda de trabajo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Al tratarse de tres cultivos diferentes, los productores tienen distintas razones que los llevan a sembrar cierto cultivo. En la Figura 17 se muestra que para el caso de la gladiola y la calabacita las dos principales razones de preferir son, las ganancias que dejan y porque conocen el trabajo; en el caso de la alfalfa las principales razones son, la necesidad del alimento para sus animales y porque su trabajo es sencillo. En opinión de los productores, de los tres cultivos es el único que mejora la tierra.

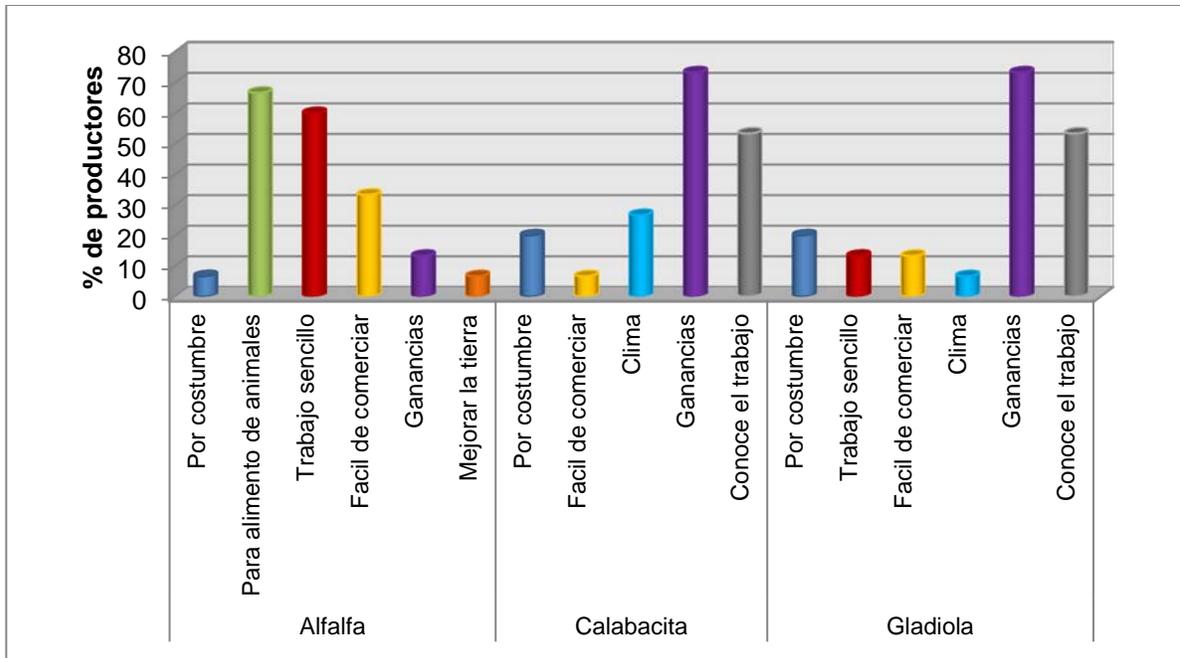


Figura 17. Razones por las que siembran los cultivos

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

La producción de los diferentes cultivos tiene diferentes destinos; la alfalfa se utiliza para el consumo de animales, para el mercado y para semilla. La calabacita se destina exclusivamente para mercado, y la gladiola, un 93 % para el mercado y 7 % para el mercado y semilla (Figura 18).

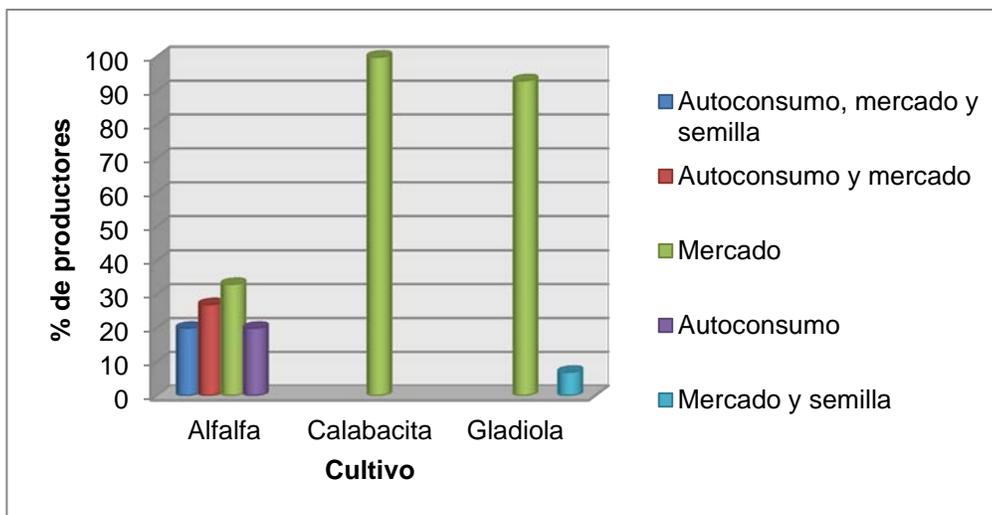


Figura 18. Destino de la producción

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Respecto a la complejidad de realizar la comercialización, la alfalfa es considerada por el 33 % de los productores, fácil y un 27 % considera que es de regular. Los productores que cultivan la gladiola, 60 % la consideran regular y 40 % de fácil comercialización. Para la calabacita en su mayoría (53 %) consideran que es de regular comercialización (Figura 19).

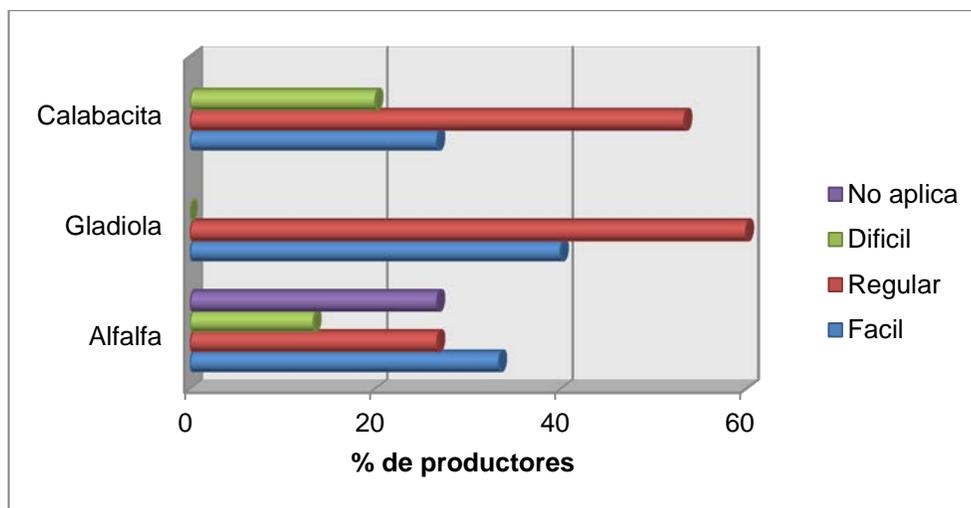


Figura 19. Comercialización de los cultivos

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014

5.3.2 Manejo del suelo: insumos y prácticas

Tema central de esta investigación es conocer las prácticas tecnológicas que los productores realizan al manejar el recurso suelo para producir, así como su percepción con respecto a puntos críticos que han observado.

De los 45 productores entrevistados, 40 % opinó que el aspecto más complicado es el control de plagas y enfermedades, 29 % considera el aspecto de abono y fertilización y 18 %, la preparación del terreno (Figura 20).

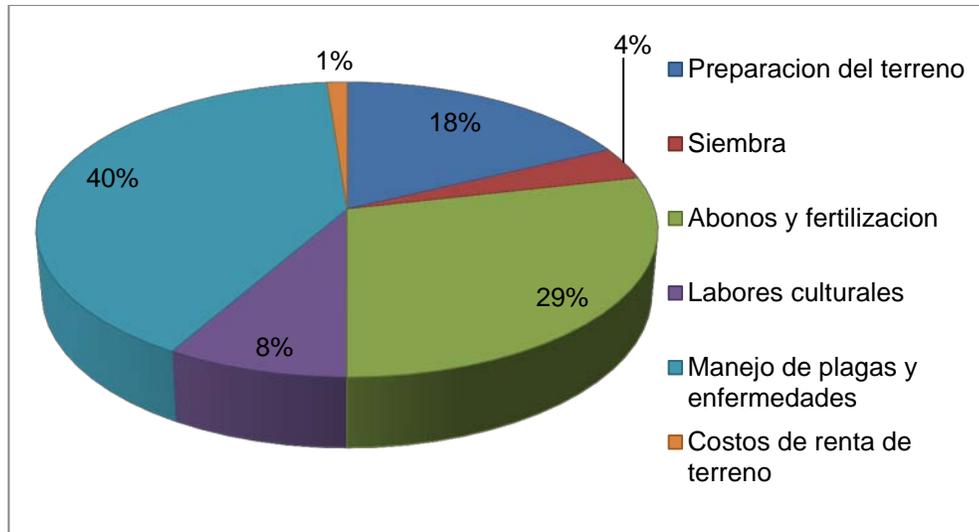


Figura 20. Aspectos que complican el proceso de producción agrícola

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Con el objeto de mejorar el proceso de producción, los productores experimentan con nuevas prácticas y productos; 73 % de los productores de alfalfa e igual porcentaje para calabacita opinaron haber probado diferentes productos y cantidades de agroquímicos y el uso de abonos orgánicos (compostas). En el caso de la gladiola en su totalidad mencionaron que no han hecho cambios en las técnicas que emplean.

En relación a la recepción de nuevos conocimientos a través de la capacitación o asesoría técnica, 27 % respondieron que sí han recibido. 6 % de los productores de alfalfa, 33 % de los productores de gladiola y 40 % de los productores dijo que si han recibido asesoría.

Del 27 % de los productores que han recibido algún tipo de asesoría por las tiendas de agroquímicos, 67 % ha sido a través de pláticas sobre el manejo del suelo y el cultivo (Figura 21). Consideran que los resultados fueron positivos.

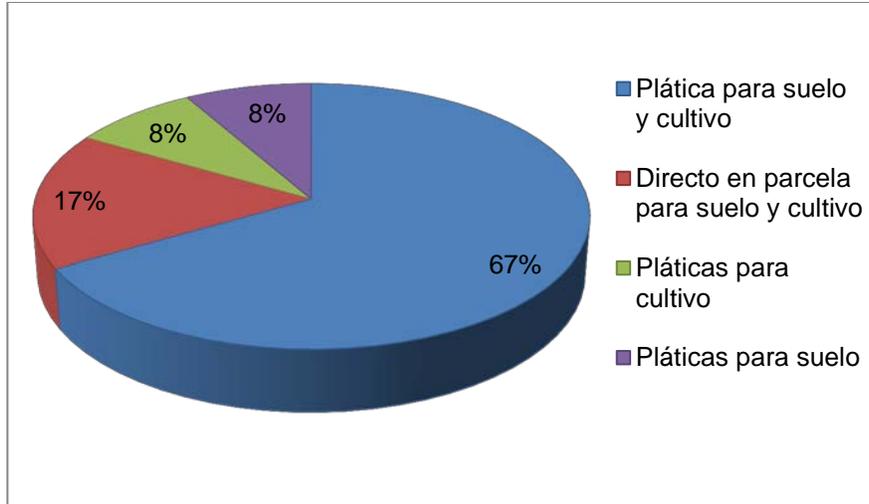


Figura 21. Asesoría técnica recibida

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Aspecto importante en el manejo de los cultivos es la mano de obra. Al ser deficitarios de fuerza de trabajo familiar se ven obligados a contratarla. Para el caso de la gladiola y la calabacita el 100 % de los productores contratan jornaleros para las diferentes actividades que requieren el cultivo. Para la alfalfa, 33 % de los productores contratan mano de obra (Figura 22). En promedio, para la alfalfa se contratan 14 personas por hectárea, para la calabacita se contratan 77 personas por hectárea, y para la gladiola se requieren 132 jornaleros por hectárea.

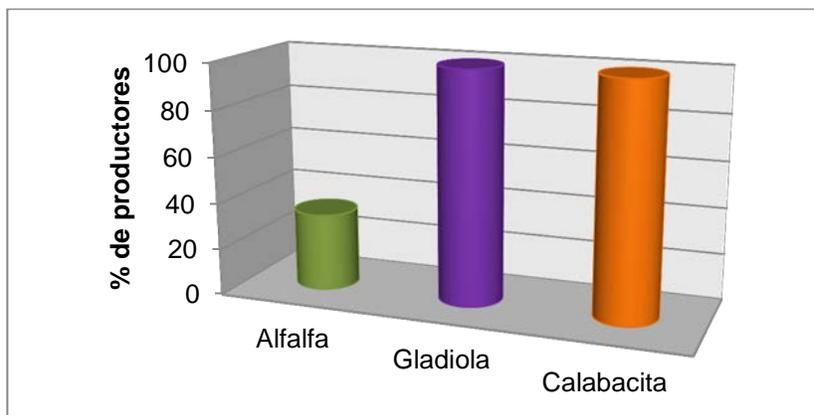


Figura 22. Productores que contratan mano de obra

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

La mecanización es una actividad introducidas en estos sistemas agrícolas. En la Figura 23 se muestra que la maquinaria principal utilizada es el tractor y la camioneta, y en menos porcentaje la sembradora y la empacadora. Sin duda, la yunta sigue siendo un equipo indispensable en los tres cultivos estudiados, y la mayor parte de los productores tienen una yunta. La camioneta es la maquinaria más utilizada; en orden de uso está la gladiola, la calabacita y la alfalfa. En el mismo orden es el uso del tractor, concentrando la propiedad en los que siembran gladiola, mientras la mayor parte de los que siembran alfalfa y calabacita prefieren rentar su servicio.

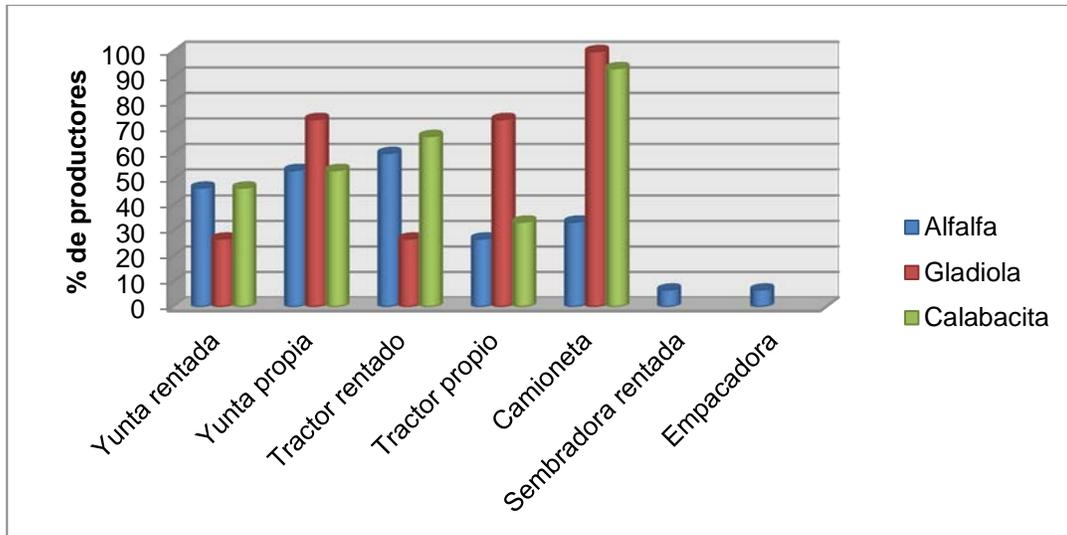


Figura 23. Maquinaria ocupada por cultivo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Respecto al uso de insumos, la gladiola y la calabacita son los cultivos más demandantes de abonos, fertilizantes, herbicidas, fungicidas e insecticidas. Respecto a las semillas, la más demandante es la calabacita (Figura 24).

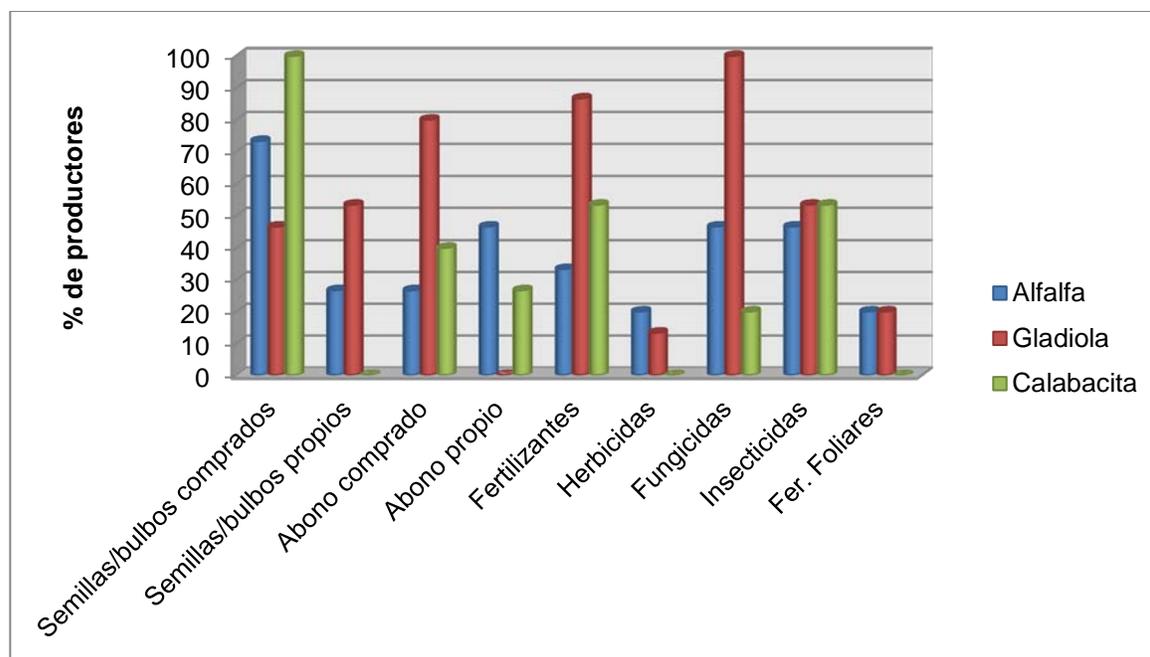


Figura 24. Insumos usados por cultivo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Los productores opinan enfrentar diversos problemas para manejar el suelo, entre éstos se encuentran: necesidades mayores de agroquímicos, altos costo de agroquímicos, baja calidad del agua, dificultad para hacer un buen riego, presencia de plagas, menor fertilidad de suelo (Cuadro 8). En la alfalfa y la calabacita, el aspecto más complicado es el control de las plagas, mientras que en gladiola, es la alta demanda de agroquímicos.

Cuadro 8. Problemas en el manejo del suelo

Cultivo/Aspecto	Alfalfa	Calabacita	Gladiola
Necesidad de más agroquímicos	x	x	x
Altos costos de agroquímicos		x	x
Riego y calidad de agua	x		x
Presencia de plagas	x	x	x
Menor Fertilidad	x	x	x
Labores del suelo		x	

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Respecto al número de agroquímicos utilizados por cultivo, la alfalfa ocupa en promedio un producto, la gladiola 5 productos y la calabacita 6 (Figura 25). Los datos muestran una correlación inversa entre el número de agroquímicos ocupados y la edad de los productores, significativa a un nivel de 0.05. Esto nos indica que entre más jóvenes son los productores, éstos ocupan menor número de agroquímicos. También se realizó un ANOVA para ver si hay diferencia entre el número de agroquímicos empleados y el cultivo. La prueba muestra que con un nivel de significancia del 0.05, si hay diferencia, haciendo notar que la alfalfa es diferente con respecto a la calabacita y la gladiola.

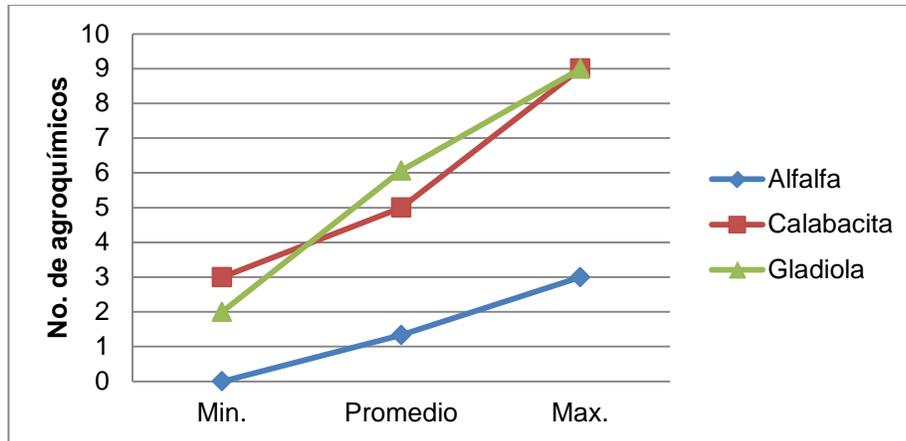


Figura 25. No. de agroquímicos utilizados por cultivo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Los agroquímicos utilizados en los tres sistemas de producción, son fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas. La mayor diversidad de productos son usados en el control de plagas y enfermedades, por lo que los productores utilizan diferentes productos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Agroquímicos utilizados en los sistemas de producción

Fertilizantes	Insecticidas	Fungicidas	Herbicidas	Fertilizantes Foliares
Sulfato de Potasio	Cipermetrina	Metil Tiofanato	Gramoxone	Grogreen
Triple 17 (17-17-17)	Monocrotofos	Captán	Karmex	20-10-10
Urea	Furadán	Manzate	Hierbamina	20-30-10
Nitrato de amonio (Amonitro)	Tamarón 600	Interguzan		Raizal 400
	Velcron 60 (Insecticida y acaricida)	Terramicina Agrícola		Triple 20 (20-20-20)
	Arrivo	Carbendazim		
	Nuvacron	Cupravit		
	Rogor (Insecticida y acaricida)	Amistar		
	Paratión (Insecticida y acaricida)			
	Velcron 60 (Insecticida y acaricida)			

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

5.4 Percepción campesina sobre el recurso suelo

Las relaciones diarias de los productores con los recursos naturales para hacer agricultura les ha permitido conocer el comportamiento de la calidad. Para el caso del suelo conocen su calidad y los efectos provocados en los cultivos. Sobre la pregunta disminución de los rendimientos de los cultivos relacionados al suelo, 20 % respondió que no han disminuido y el 80 % considera que si han disminuido. De estos últimos, 82 % opina que la disminución se debe al manejo que se ha dado al

suelo, el 18 % cree que se debe a otros factores que no tienen que ver con el manejo del suelo.

En la Figura 26, se presenta la opinión de los productores sobre la calidad del suelo; 40 % considera que la calidad es mala, 36 % opinó que es regular y el resto opinan que tienen una calidad buena y buena en algunas partes.

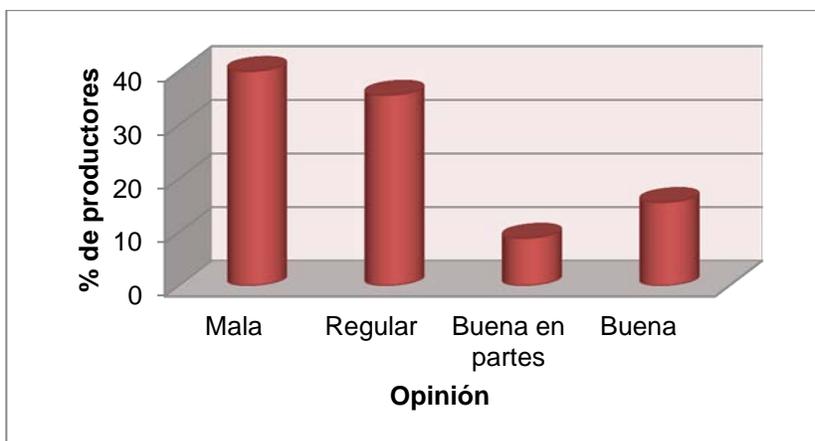


Figura 26. Opinión sobre calidad del suelo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Respecto a la calidad en el tiempo, 78 % de los productores considera que la calidad del suelo era mejor antes, el 18 % opina que la calidad no ha cambiado y se mantiene de la misma forma que antes y un 4 % perciben que ha mejorado y que los cultivos que trabajan tienen mejores resultados ahora que antes (Figura 27).

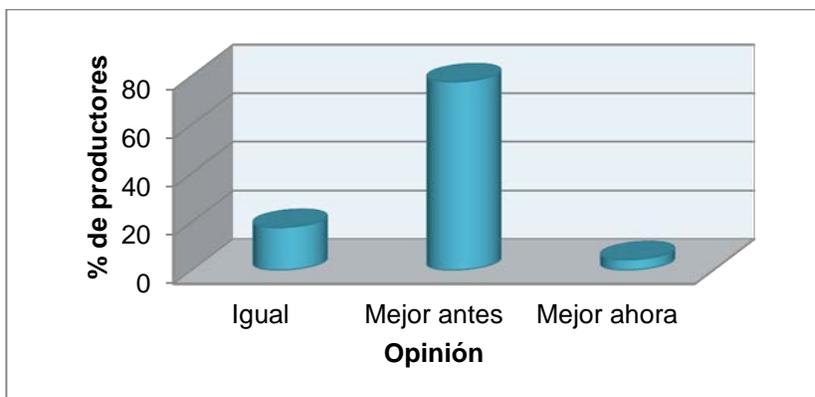


Figura 27. Opinión sobre calidad del suelo anteriormente

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Los productores atribuyen el cambio en la calidad del suelo a diversos factores. Las principales razones, son: el tipo y cantidad de agroquímicos que se utiliza (22 %), tipo de agua con que se riega (16 %) y, a la contaminación (11 %). Otras razones se atribuyen a la combinación de éstas y otras actividades como las prácticas utilizadas, las condiciones ambientales, el tipo de cultivo y la quema de basura (Figura 28).

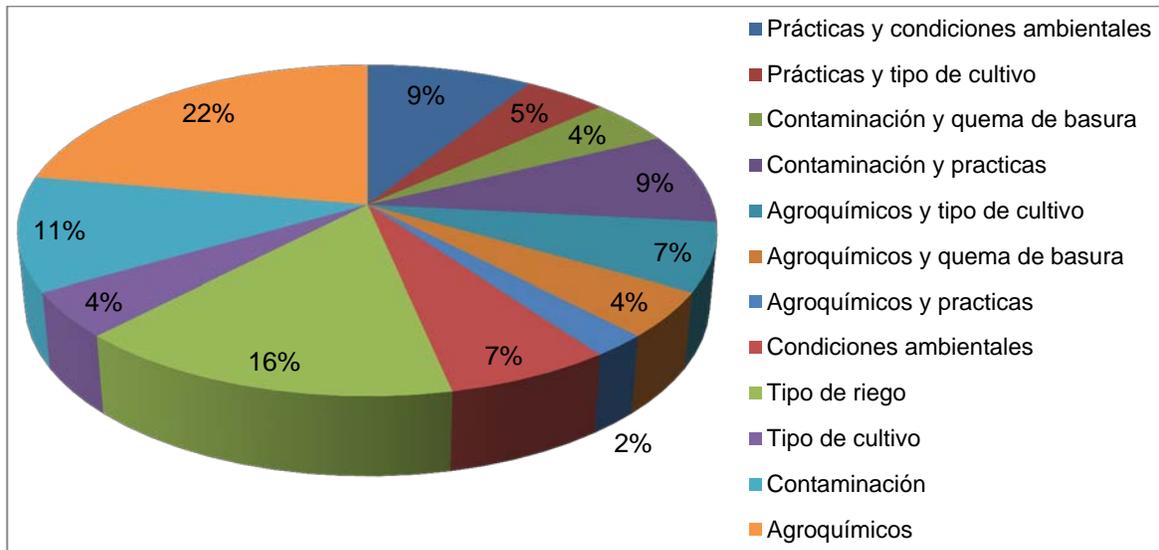


Figura 28. Razones por las que ha cambiado la calidad del suelo

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

A la pregunta sobre su actitud para mejorar la condición del suelo, 78 % contestó que sé está dispuesto a realizar alguna acción, 20 % comentaron que si harían algo pero depende de la acción y los requerimientos para hacerlo, y 2% dijo que ellos no harían nada ya que consideran que el suelo que trabajan está en buenas condiciones.

En opinión de los productores, existen cultivos que dañan al suelo. En orden de importancias por el daño que causan, señalan al sorgo, la gladiola, la jícama y el camote. Pero también existen cultivos que ayudan a mejorar el suelo como la alfalfa, el frijol, el cacahuate y el maíz.

5.5 Análisis de suelo y agua

En esta sección de resultados se presenta la información obtenida de los 12 agroecosistemas estudiados durante la fase de campo, *in situ* y lo reportado por los análisis de laboratorio.

5.5.1 Propiedades físico-químicas del suelo

La macrofauna y tiempo de infiltración de agua en el suelo

En el Cuadro 10 se presentan los promedios obtenidos en campo de las 12 parcelas con los diferentes cultivos y la parcela testigo del indicador: Macrofauna. Para el caso de la Macrofauna se muestra el promedio de los datos que se obtuvieron en cinco puntos diferentes en cada parcela.

Cuadro 10. Macrofauna por parcela

Parcela	Macrofauna (Promedio por parcela)	Promedio por cultivo
AI1P	26.8	Alfalfa 23.4
AI2P	27.4	
AI1R	19.4	
AI2R	19.6	
G11P	5.2	Gladiola 6.95
G12P	5.4	
G1R	5.2 ^a	
G12R	12.0	
Ca1P	7.2	Calabacita 4.4
Ca2P	3.0	
Ca1R	3.4	
Ca2R	4.0	

Testigo	8.0	
---------	-----	--

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes.

Nivel de significancia Tukey = 0.05%

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Es importante destacar lo que mencionan Beare *et al.* (1995), que los procesos que ocurren en el suelo son mediados por los organismos que lo habitan. Entre ellos se destaca la macrofauna, porque directa o indirectamente afecta la estructura y fertilidad del suelo. Las comunidades presentes están determinadas por el manejo que se realiza (perturbaciones físicas, distribución de residuos y vegetación). A nivel local la composición y distribución de las comunidades son afectadas por factores tales como la disponibilidad de recursos, las condiciones microclimáticas, la fertilidad y estructura del suelo.

A la macrofauna y tiempo de infiltración se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) (Anexo 8), encontrándose diferencias significativas solo en el primer caso, según la parcela y el cultivo presente. Con un nivel de significancia del 0.05, y con la prueba de Tukey queda marcado que la parcela con alfalfa es diferente a la de calabacita y la de gladiola con respecto al número promedio de organismos presente en este sistema, siendo este cultivo el que tiene un mayor valor en este indicador, lo que permite ver que el manejo que se le da propicia que haya presencia de un mayor número de organismos, por lo tanto una mayor biodiversidad.

Por otra parte tenemos el indicador de tiempo de infiltración en el suelo. El proceso de infiltración ocurre cuando aguas procedentes de las precipitaciones o de riego, inicia un movimiento descendente adentrándose en el subsuelo, pudiendo alcanzar diferentes profundidades en función de las condiciones. El manejo del suelo puede afectar significativamente: la escorrentía, la evaporación directa de la superficie del suelo, la cantidad de humedad del suelo disponible para las plantas dentro del alcance de sus raíces, y la profundidad de penetración de las raíces. Según la textura, la profundidad, el contenido de materia orgánica y la actividad biológica del suelo, estos varían en su capacidad para mantener la disponibilidad de

agua para las plantas. Las prácticas que llevan a la compactación del suelo como el uso de máquinas e implementos, el tráfico de animales y hombres puede destruir o reducir enormemente las dimensiones de los poros del suelo y por ende, reducir la tasa de infiltración del agua (FAO, 2005b).

El valor de tiempo de infiltración es el promedio de cinco puntos de cada parcela, en el caso de este indicador se extrajeron muestras de esos 5 puntos para después secarlas y colocarla en probetas, y poder medir el tiempo de infiltración.

Cuadro 11. Tiempo de infiltración

Parcela	Tiempo de Infiltración (Minutos promedio)	Promedio por cultivo
A11P	29.6	Alfalfa 27.4
A12P	31.8	
A11R	24.2	
A12R	24.0	
G11P	33.8	Gladiola 29.4
G12P	34.0	
G1R	23.4	
G12R	26.2	
Ca1P	25.2	Calabacita 26.1
Ca2P	31.8	
Ca1R	21.4	
Ca2R	25.8	
Testigo	19.0	

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

En el Cuadro 11, se muestran los promedios obtenidos en cada parcela con los diferentes cultivos, y los promedios por cultivo. En lo que refiere al tiempo de infiltración se probó a través de un ANOVA (Anexo 8) que no hay diferencia significativa entre los tres cultivos (0.05 nivel de significancia). El manejo que se le da

al suelo según el tipo de cultivo no se ve reflejado en la capacidad que tiene este recurso para la infiltración del agua, siendo a su vez moderada. Las prácticas llevadas a cabo en los 3 sistemas tienen el mismo impacto en el recurso suelo en lo que concierne a su capacidad de infiltración. La FAO (2005) señala que debe buscarse que el manejo de la tierra fomente la infiltración en lugar de propiciar una lenta escorrentía. La clave de la infiltración es mantener el suelo poroso con una cobertura de residuos de cultivos que previene el impacto dañino de las gotas de lluvia y proporciona un substrato para los organismos del suelo.

Calidad del suelo

En este trabajo de investigación se ha establecido que el eje principal es el recurso suelo, por lo que nos interesa saber las prácticas que conforman su manejo y como se encuentra en relación a su calidad de acuerdo al manejo y proceso de contaminación. El suelo representa un recurso vital en la agricultura. No debe verse solo como una capa estática que sólo sirve de soporte de las plantas, este recurso constituye un ecosistema complejo y dinámico donde tienen lugar numerosos procesos físicos, químicos y biológicos. De ellos dependen la fertilidad y la estructura del suelo, lo que nos permitirá entender la productividad de los cultivos que se presentan. Por esta razón es muy importante analizar la situación actual e identificar puntos críticos con respecto a la sustentabilidad del suelo como sistema productivo o como recurso natural importante para la calidad de la vida y mantención de la biodiversidad.

En los Cuadros 12 y 13 se muestran los resultados de los análisis que se realizaron a las muestras de cada una de las parcelas para conocer la calidad del recurso suelo.

Cuadro 12. Análisis de calidad de suelos (1)

Parcela	pH	CE	M.O. (%)	Nkjeldhal	P	K	Ca	Mg	Na	CIC
	1:2 * H ₂ O	1:5 H ₂ O mmhos/ cm dS m ⁻¹	Walkley - Black	%	Olsen ppm	← NH ₄ OAc 1 N pH 7 → meq/100g (cmoles+Kg ⁻¹)				
Alfalfa	7.6	0.14	1.6	0.09	4	0.6	5.2	4.5	0.4	10.6
Calabacita	7.9	0.25	1.4	0.08	4	0.6	5.1	4.2	0.4	10.3
Gladiola	7.9	0.22	1.4	0.08	4	0.5	5.1	3.7	0.3	9.5
Testigo	7.7	0.25	1.5	0.06	4	0.6	4.1	2.6	0.2	7.4

Fuente: Análisis de Laboratorio de fertilidad de suelos y química ambiental, COLPOS, 2014.

Cuadro 13. Análisis de calidad de suelos (2)

Parcela	N-NO ₃	N-NH ₄	Textura Boyoucos			Clasificación	Fe	Cu	Zn	Mn	S-SO ₄ ppm
	KCl 2 N		arena	limo	arcilla	Textural	← DTPA →				
	← ppm →		← (%) →				ppm				
Alfalfa	20	1	60	16	24	Fco.arc.arenoso	10	2	1.2	10	16
Calabacita	18	2	58	17	25	Fco.arc.arenoso	10	2	1.5	8	14
Gladiola	15	1	61	15	24	Fco.arc.arenoso	10	2	1.0	7	14
Testigo	17	0	64	12	24	Fco.arc.arenoso	15	1	0	8	18

S-SO₄=m. turbidimétrico

Fuente: Análisis de Laboratorio de fertilidad de suelos y química ambiental, COLPOS, 2014.

Para poder comprender de lo que estas tablas nos muestran, los resultados se compararon con lo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (Cuadros 14 y 15).

Cuadro 14. Parámetros químicos en suelo establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (1)

pH		Conductividad eléctrica Mmhos/cm dS m ⁻¹		M. O. (%)		P ppm	
Fuertemente ácido	< 5.0	Efectos despreciables de la salinidad	< 1.0	Muy bajo	< 0.5	Bajo	< 5.5
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5	Muy ligeramente salino	1.1 – 2.0	Bajo	0.6 – 1.5	Medio	5.5 – 11
Neutro	6.6 – 7.3	Moderadamente salino	2.1 – 4.0	Medio	1.6 – 3.6	Alto	> 11
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5	Suelo salino	4.1 – 8.0	Alto	3.6 – 6.0		
Fuertemente alcalino	> 8.5	Fuertemente salino	8.1 – 16.0	Muy Alto	> 6.0		
		Muy fuertemente salino	> 16.0				

Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000

Cuadro 15. Parámetros químicos en suelo establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2)

CIC (cmoles+Kg ⁻¹)		N %		Fe ppm		Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
Muy Baja	< 5	Muy Bajo	< 0.05	Deficiente	< 2.5	< 0.2	< 0.5	< 1.0
Baja	5 – 15	Bajo	0.05 – 0.10	Marginal	2.5 – 4.5		0.5 – 1.0	
Media	15 – 25	Medio	0.10 – 0.15	Adecuado	> 4.5	> 0.2	> 1.0	> 1.0
Alta	25 – 40	Alto	0.15 – 0.25					
Muy Alta	> 40	Muy Alto	> 0.25					

Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000

Los suelos analizados presentan una textura franco arcillo arenosa. Los valores de pH en agua (1.2) para el caso de las parcelas de cultivo y el testigo, están dentro de la clasificación de medianamente alcalino (fluctuación entre 7.7 a 7.9). Siebe (1994) menciona que el pH medianamente alcalino tanto en agua como en suelo favorece la lixiviación de metales pesados quedando inmóviles, pero siguen representando cierto riesgo en el suelo, ya que si el pH del suelo disminuye, los metales pueden quedar disponibles para las plantas.

Con respecto a la conductividad eléctrica los valores obtenidos para las parcelas y el testigo muestran que son suelos con efectos despreciables de la salinidad (fluctuación entre 0.14 a 0.25 mmhos/cm ds m⁻¹), según lo que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000. Esta clasificación implica que no representa problemas para los cultivos ya que la planta requiere una energía potencial para absorber los nutrientes del suelo a través de sus raíces, cuando aparece un alto contenido de sales disueltas en el suelo, mayor es la energía que se necesita, provocando mayores restricciones para el desarrollo de la planta (Badia, 1992).

La materia orgánica presente, nos indica que para el caso de las parcelas de cultivos de alfalfa se encuentran en un nivel medio (1.6%), las parcelas de los otros dos cultivos y el testigo presentan niveles bajos de este indicador (entre 1.4 y 1.5%). La descomposición sucesiva del material muerto y la materia orgánica modificada resulta en la formación de una materia orgánica más compleja llamada humus. El humus afecta las propiedades del suelo y su color que se vuelve más oscuro; incrementa la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes durante su lenta descomposición, haciendo que queden disponibles (Adams, 1995). Los resultados de fósforo se encuentran en niveles bajos para todas las parcelas y el testigo.

La capacidad de intercambio catiónico también representa valores bajos para todos los casos de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los suelos con alta CIC suelen tener alto contenido de arcilla y/o materia orgánica. Estos suelos son considerados más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes. Otro factor que propicia una alta CIC es el pH, al tener un pH más alto se ve favorecida la CIC (Adams, 1995).

Las determinaciones de nitrógeno total, también se encuentran en una clasificación baja para todas las muestras analizadas. En un suelo empapado se puede producir también la lixiviación del nitrógeno en el sistema de aguas

subterráneas, quedando fuera del alcance de las plantas, que se encuentran en las capas superficiales. El nitrógeno también se puede perder en suelos que tengan un pH elevado y estén a temperaturas altas, convirtiéndose en gas de amoníaco, a este cambio se le da el nombre de volatilización. Por último, la recogida de las cosechas, la erosión natural y la escorrentía también pueden provocar la eliminación del nitrógeno de los suelos (Leary *et al.*, 1994).

Finalmente los micronutrientes analizados (Fe, Cu, Zn y Mn), se encuentran en niveles adecuados en el suelo de los 3 sistemas estudiados de acuerdo a los establecido por la Norma; el sitio testigo también presenta niveles adecuados a excepción del Zn, donde presenta un nivel deficiente.

Para conocer si había diferencias significativas entre las propiedades que presenta cada sistema de cultivo, se realizó un ANOVA, el cual muestra que no hay ninguna diferencia importante entre las características de calidad del recurso suelo manejado en los diferentes sistemas. Sin embargo, esto no quiere decir que las prácticas que se llevan a cabo actualmente en los agroecosistemas no perturben de manera negativa, en los resultados arrojados por los análisis se aprecian pequeñas variaciones entre los cultivos, lo que permite ver que aunque estadísticamente no tengan significancia, si hay diferencias entre las características que presenta el suelo de las diferentes parcelas analizadas, un ejemplo es el porcentaje de materia orgánica que presentan los suelos cultivados con alfalfa (más alto) con respecto a los de los otros cultivos, esto nos permite ver que tiene una relación con que también haya una mayor densidad de macrofauna en las parcelas de este mismo cultivo.

Como parte de esta investigación se buscó si existía una correlación (Pearson) entre las características que presentan los suelos y los rendimientos promedio de cada sistema de cultivo. Los resultados arrojados por esta prueba estadística indican que no hay ninguna correlación significativa entre estos factores hasta el momento.

Presencia de contaminantes (metales pesados) en suelo

La calidad del suelo es uno de los factores más importantes en el mantenimiento de la biodiversidad. En los sistemas agrícolas, la mayoría de los metales pesados están incluidos en un ciclo biogeoquímico en el cual los dos componentes fundamentales son el suelo y la planta. Por una parte, dichos elementos pueden llegar al suelo por vía aérea (aerosoles, partículas minerales, polvos suspendidos y transportados por el aire) y terrestre (fertilizantes, plaguicidas, residuos sólidos, etc.) y, por otra, se pueden perder absorbidos por las plantas, o por lixiviación y erosión.

En el Cuadro 16 se muestran las concentraciones de referencia, en este caso para suelos de uso agrícola, de diferentes metales pesados establecido por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Estos valores fueron comparados con los obtenidos en los análisis de laboratorio.

Cuadro 16. Concentración de referencias totales (CR_T) por tipo de uso de suelo

Contaminante	Uso agrícola/residencial/comercial (mg/kg)
Arsénico	22
Bario	5400
Berilio	150
Cadmio	37
Cromo Hexavalente	280
Mercurio	23
Níquel	1600
Plata	390
Plomo	400
Selenio	390
Talio	5.2
Vanadio	78
Nota: a. En caso de que se presenten diversos usos del suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine.	

b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos de suelo, se usará el valor residencial.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

En el Cuadro 17 están los resultados (promedio de las repeticiones) de los análisis que se realizaron a las muestras de suelo de los diferentes cultivos para determinar la presencia de contaminación por los siguientes metales pesados: Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Vanadio. Así mismo, también están los resultados del sitio testigo y las concentraciones que marca la norma como referencia de acuerdo al uso de suelo, que en este caso de agrícola.

Cuadro 17. Concentración de metales pesados en suelo (mg/kg)

Metal pesado/ Parcela	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	V
Alfalfa	0.197	0.266	0.318	0.851	0.382	4.068
Calabacita	0.294	0.359	0.280	0.634	0.323	3.593
Gladiola	0.267	0.319	0.315	0.741	0.425	3.675
Testigo	0.172	0.408	0.357	0.914	0.643	4.826
NORMA	37	280	23	1600	400	78

Fuente: Análisis de Laboratorio de nutrición vegetal, COLPOS, 2014.

En lo que refiere a los niveles establecidos por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, es evidente que las concentraciones presentes en las muestras analizadas se encuentran muy por debajo de los límites que se señalan como referencia, por lo que puede concluirse que el recurso suelo de los sitios estudiados no presenta contaminación por las cantidades presentes de los metales analizados.

Con respecto al sitio testigo, puede observarse que en algunos casos este tiene mayor presencia del metal analizado, y en otros es menor (Figura 29). Es importante tener presente que la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de

manejo de la contaminación (Sauve *et al.*, 2000). En el caso del vanadio es el elemento con mayor presencia en los suelos estudiados, siendo un elemento que de manera natural se encuentra presente, por otro lado en cadmio es el elemento con menor concentración en las parcelas.

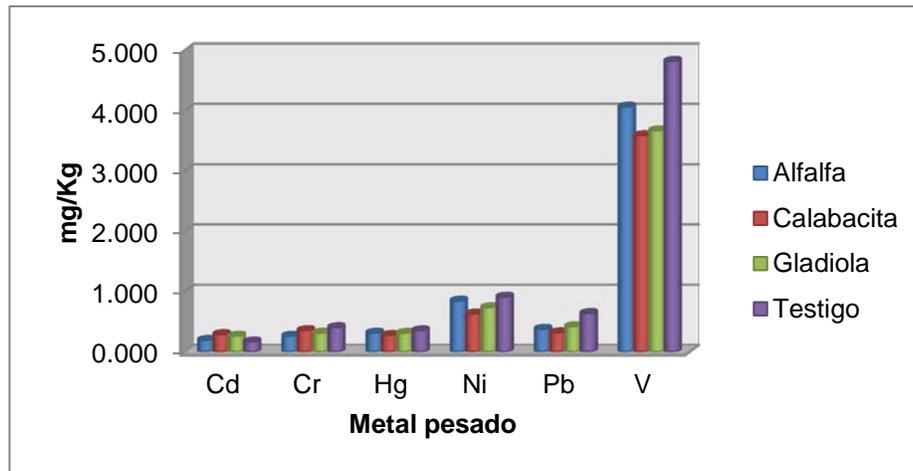


Figura 29. Concentración de metales pesados en suelo

Fuente: Análisis de laboratorio COLPOS, 2014.

Parte central de esta investigación es ver si hay diferencias entre los suelos manejados por los 3 diferentes cultivos, para esto se realizó un ANOVA (Anexo 8) el cual muestra que no hay ninguna diferencia importante entre las concentraciones de los diferentes metales en el recurso suelo de los diferentes cultivos.

Comparando las concentraciones de las parcelas de los diferentes cultivos con respecto al testigo, a través de un análisis estadístico (Prueba de T) (Anexo 8) con un intervalo de confianza del 95 % se puede decir, que solo para el caso del cadmio y níquel se encontró diferencia significativa con respecto al testigo y el suelo cultivado con calabacita; para el cromo, mercurio, plomo y vanadio no hay diferencia entre los sistemas cultivados con respecto al testigo. En este caso puede ser circunstancial, el haber encontrado esta diferencia, no se puede concluir de manera certera que se deba precisamente al manejo.

5.5.2 Relación de la contaminación del suelo con el agua de riego

El agua utilizada para el riego de las parcelas proviene de diferentes pozos y de un canal de agua residual. El análisis del agua ocupada para el riego, en todos los casos, está clasificada como C4-S1, de acuerdo con los resultados de laboratorio, esto quiere decir que es un agua muy altamente salina. No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancia muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado; en este caso, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales. Es un agua baja en sodio. Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

A pesar de que son aguas muy salinas, como se puede ver en los análisis de suelo, estos no se han visto afectados por esta propiedad del agua, por el contrario los suelos muestran niveles muy bajos en sales, lo que indica que hay otros factores que están afectando esta propiedad.

El agua que ocupa para regarse es utilizada de la siguiente forma (Cuadro 18):

Cuadro 18. Procedencia del agua de riego

Parcela	Procedencia del agua de riego
AI1P	Pozo 3
AI2P	Pozo 3
AI1R	Canal de agua residual
AI2R	Canal de agua residual y pozo 8
GI1P	Pozo 1
GI2P	Pozo 2
GI1R	Canal de agua residual y pozo 5
GI2R	Canal de agua residual

Ca1P	Pozo 2
Ca2P	Pozo 2
Ca1R	Canal de agua residual y pozo 4
Ca2R	Canal de agua residual y pozo 8

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la concentración de metales pesados presentes en suelo y la concentración de metales pesados encontrados en el agua de riego (Cuadro 19).

Cuadro 19. Concentración de metales pesados en el agua de riego

Identificación	Cd, ppm	Cr, ppm	Hg, ppm	Ni, ppm	Pb, ppm	V, ppm
Pozo 1	nd	nd	2.651	Nd	0.384	0.35
Pozo 2	nd	nd	3.587	0.089	0.623	0.122
Pozo 3	0.013	nd	2.59	Nd	0.329	0.42
Pozo 4	0.091	nd	2.353	0.019	0.602	0.421
Pozo 5	nd	nd	1.757	Nd	0.558	0.354
Pozo 8	0.024	0.019	3.133	Nd	0.208	0.401
Agua residual	0.034	nd	2.632	Nd	0.025	0.336

nd= no detectado

Fuente: Análisis de Laboratorio de nutrición vegetal, COLPOS, 2014.

Con base en los resultados obtenidos del análisis de correlación de Pearson, solo se observó una correlación significativa con un nivel de significancia de 0.01, esta relación es entre la concentración de Plomo (Pb) en el agua de riego y la concentración presente en el suelo de los 3 cultivos, por lo que el Pb que contiene el agua de las diferentes fuentes de riego, representa una cantidad importante al ser este un factor que está repercutiendo en los niveles de este metal contenidos en el suelo.

De manera general, podemos ver en los resultados obtenidos que el manejo de la calidad del suelo en un agroecosistema, responde a un gran número de

prácticas agrícolas, tecnologías que vienen de un conocimiento acumulado por las generaciones e implementadas según el tipo agricultura. El uso acertado de estas prácticas y tecnologías es lo que nos lleva a un manejo más sustentable o menos sustentable de este recurso.

En los sistemas evaluados podemos encontrar prácticas tradicionales y agroindustriales, se presenta una combinación de estas de acuerdo a las posibilidades de los productores con la finalidad de obtener mejores resultados en el manejo de sus cultivos.

CAPÍTULO VI DISCUSIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Como se ha expuesto en este trabajo, el suelo es el fundamento de los sistemas de producción agrícola de la sociedad. El principio que sustenta la agricultura ecológicamente apropiada es considerar al suelo como un organismo vivo dinámico, que nace, madura y muere, y no puede ser reducido a un simple soporte de plantas, y tampoco se puede utilizar una fórmula universal para cultivarlo y fertilizarlo.

La agroecología explica la estructura y la función de los agroecosistemas (ecosistemas que han sido intervenidos por la acción humana) sustentándose en los mismos principios ecológicos que rigen la dinámica de los ecosistemas naturales. Esto obliga a reconsiderar con más detalle ciertos aspectos de la estructura biótica de los ecosistemas para comprender los aciertos y errores de las prácticas utilizadas en el manejo, en la nutrición y en la sanidad de los agroecosistemas agropecuarios y descubrir la repercusión de éstas sobre la salud vegetal, animal y humana.

No perder de vista el enfoque de sostenibilidad y lo que esto engloba. Gliessman (2002) señala que este término tiene diferentes significados, sin embargo, plantea que tiene una base ecológica, donde no se pueden dejar de lado los aspectos sociales y económicos que intervienen.

Es evidente que uno de los principales factores a considerarse en relación con la sostenibilidad agroecológica, es el suelo, base para la producción de alimentos para la humanidad. Sin suelo las plantas no pueden existir, y sin ellas no existe la vida animal y humana. Por eso el destino de la humanidad depende de la protección y recuperación del suelo y mantenerlo como un ecosistema saludable.

Con base en lo anterior es importante discutir los resultados de este estudio, analizando los hallazgos a la luz de los conocimientos teóricos y con ello dar respuestas a las hipótesis específicas y a la hipótesis general que se han planteado.

La hipótesis específica número 1, señala: **“Los sistemas agrícolas con manejo agroindustrial son los que más daños presentan en su recurso suelo, por lo que su manejo es menos sostenible”**. Para probar esta aseveración, se analizaron indicadores de sostenibilidad para los sistemas agrícolas: alfalfa, calabacita y gladiola, tomando en cuenta que cada uno de estos sistemas requiere de un manejo diferente del suelo.

Para conocer el grado de sostenibilidad en el manejo del suelo de los tres agroecosistemas, se utilizó parte de la metodología del MESMIS (Masera *et al.*, 1999) y se analizaron 19 indicadores que integran aspectos ambientales, económicos y sociales relacionados con el sistema suelo. Se asignó un valor a cada uno de estos indicadores para la integración de resultados, algunos concentran información muy variada, lo que dificulta la agregabilidad. En el Cuadro 20, se presentan los indicadores y los valores promedio de los 3 agroecosistemas estudiados.

Cuadro 20. Integración de los indicadores de sostenibilidad del sistema suelo de los agroecosistemas alfalfa, calabacita y gladiola, en Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla

Indicador	Forma de medición	Optimo	Sistemas agrícolas		
			Alfalfa	Calabacita	Gladiola
1. Macrofauna ¹	Densidad de organismos en un m ² El óptimo se consideró a partir de los datos observados en campo.	27 (100 %)	23.3 (86 %)	4.4 (16 %)	7 (26 %)
2. Calidad de suelo por contaminación ²	Comparación de análisis de laboratorio con respecto a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.	100 (100 %)	100 (100 %)	100 (100 %)	100 (100 %)
3. Materia Orgánica en suelo	% de materia orgánica en las parcelas. De acuerdo a estudios técnicos ³ .	2 (100 %)	1.56 (78 %)	1.35 (67 %)	1.39 (69 %)

4. Calidad del suelo (propiedades físico – químicas) ⁴	Comparación de análisis de laboratorio con respecto a la NOM-021-SEMARNAT-2000	100 (100 %)	66 (66 %)	66 (66 %)	66 (66 %)
5. Velocidad de infiltración ¹	Minutos en que se tarda en humedecer el suelo en una probeta de 1 Litro (prueba de campo). El óptimo se consideró a partir de los datos observados en campo.	19 (100 %)	27.4 (56 %)	26 (63 %)	29.4 (46 %)
6. Uso de tractor	Porcentaje de productores que utilizan tractor. El óptimo se considera cuando no se utiliza el tractor, por lo que se usaron los porcentajes invertidos.	0 (100 %)	50 (50 %)	83 (17 %)	50 (50 %)
7. Uso de yunta	Porcentaje de productores que utilizan yunta.	100 (100 %)	50 (50 %)	17 (17 %)	50 (50 %)
8. Biodiversidad funcional	Número cultivos trabajados por los agricultores en sus parcelas. El óptimo se consideró de acuerdo a la información que se obtuvo en la zona.	4 (100 %)	4 (100 %)	3 (75 %)	3 (75 %)
9. Aspecto del cultivo	Opinión del productor sobre la apariencia de su cultivo con respecto a otros ciclos. Bueno 100%, regular 50%, malo 0%.	100 (100 %)	88 (88 %)	88 (88 %)	100 (100 %)
10. Agroquímicos para el control de plagas y enfermedades	Cantidad de agroquímicos aplicados por hectárea (en kg y l) ⁸ Óptimo no aplicar.	0 (100 %)	10 (90 %)	7 (93 %)	18 (82 %)
11. Vegetación natural	Número de especies alrededor de las parcelas.	4 (100 %)	3.3 (82 %)	2.3 (57 %)	2.5 (62 %)

	El óptimo se consideró de acuerdo a la información que se obtuvo en la zona.				
12. Volumen de fertilizantes/ha	Kg de agroquímicos aplicados por hectárea	0 (100 %)	247 (75 %)	924.2 (8 %)	1000.7 (0 %)
13. Biomasa por hectárea ⁵	Toneladas cosechadas de materia vegetal útil para el consumo y venta	15680 ⁶ (100 %)	15680 (100 %)	8580 (54.7 %)	3440 (21.9 %)
14. Necesidades de mano (No contrata)	Cantidad de mano de obra por hectárea. El óptimo es cuando no se requiere de mano de obra contratada.	0 (100 %)	0 (100 %)	94 (8 %)	159 (0 %)
15. R B/C	Ganancias en pesos por hectárea. El óptimo se consideró cuando las ganancias fueran el doble de lo que se invirtió, es decir una R B/C 3:1	3 (100 %)	2.6 (87 %)	3.6 (100 %)	2.8 (93 %)
16. Costo por manejo de suelo (ha)	Gastos generados por el manejo del suelo: preparación, riego, deshierbe y agroquímicos empleados	17660 ⁷ (100 %)	11,050 (37 %)	14139 (20 %)	23704 (34 %)
17. Facilidad para comercializar	Opinión del productor. Fácil 100%, regular 50%, difícil 0%.	100 (100 %)	50 (50 %)	50 (50 %)	100 (100 %)
18. Independencia de agroquímicos	Cantidad total de agroquímicos ocupados por hectárea ⁸	0 (100 %)	256.6 (74 %)	931.5 (7 %)	1018.4 (0 %)
19. Capacitación para el manejo del suelo	Porcentaje de productores que han recibido capacitación	100 (100 %)	0 (0 %)	50 (50 %)	50 (50 %)

Nota: Debe mencionarse que los valores presentados en el Cuadro anterior, para el caso de algunos indicadores no representan el dato directo, es decir, se establecieron rangos, o porcentajes inversos para poder asignar un valor que representara lo que se desea con respecto a niveles de sostenibilidad.

¹Para el caso de los indicadores de macrofauna y tiempo de infiltración, el óptimo fue considerado como el mejor valor encontrado en campo durante los muestreos para las condiciones dadas en la zona de estudio.

²Se compararon los resultados de cada cultivo con la Norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (para Cd, Cr, Hg, Ni, Pb y V), considerando el óptimo de 100% cuando todos los valores se encontraran por debajo de lo que marca la Norma.

³Canet, R. 2007. Uso de materia orgánica en Agricultura.

⁴Se compararon los resultados de cada cultivo con la Norma NOM-021-SEMARNAT-2000, considerando el óptimo de 100% cuando todos los valores (pH, Conductividad eléctrica, P, Capacidad de intercambio catiónico, N, Fe, Cu, Zn y Mn) se encontraran en los niveles adecuados que indica la Norma.

⁵Para el caso de la alfalfa se consideró un promedio de 140 pacas (con poca humedad) por corte por hectárea; cada paca con un peso promedio de 28 kilogramos. Considerando un periodo de 6 meses, se realizan 4 cortes. Para la calabacita, se cosecharon en promedio 286 cajas por hectárea, con un promedio de 30 kilogramos por caja. Para la gladiola, se cosecharon en promedio 430 gruesas, cada una con un peso promedio de 8 kilogramos.

⁶Considerada la producción promedio máxima dentro de un sistema más sostenible.

⁷Cálculo para el primer año hacia la transición para un manejo ecológico.

⁸Al ser mínima la cantidad en litros que se ocupó, se sumó a la cantidad en kg con fines de representar el valor del indicador.

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Los valores de los indicadores quedan mejor representados en un gráfico tipo AMOEBA, el cual consiste en un diagrama radial en el que en cada eje se representa un indicador con sus unidades apropiadas. Cada eje se normalizó a una meta que representa el 100 % (Maserá *et al.*, 1999). Para poder representarlo de manera uniforme a cada indicador se le asignó un valor entre una escala del 0 al 100, en donde el 0 significa el peor valor y el 100 el ideal que podría tener el sistema. En la Figura 30, se muestra la situación de la sostenibilidad del sistema suelo de los tres cultivos.

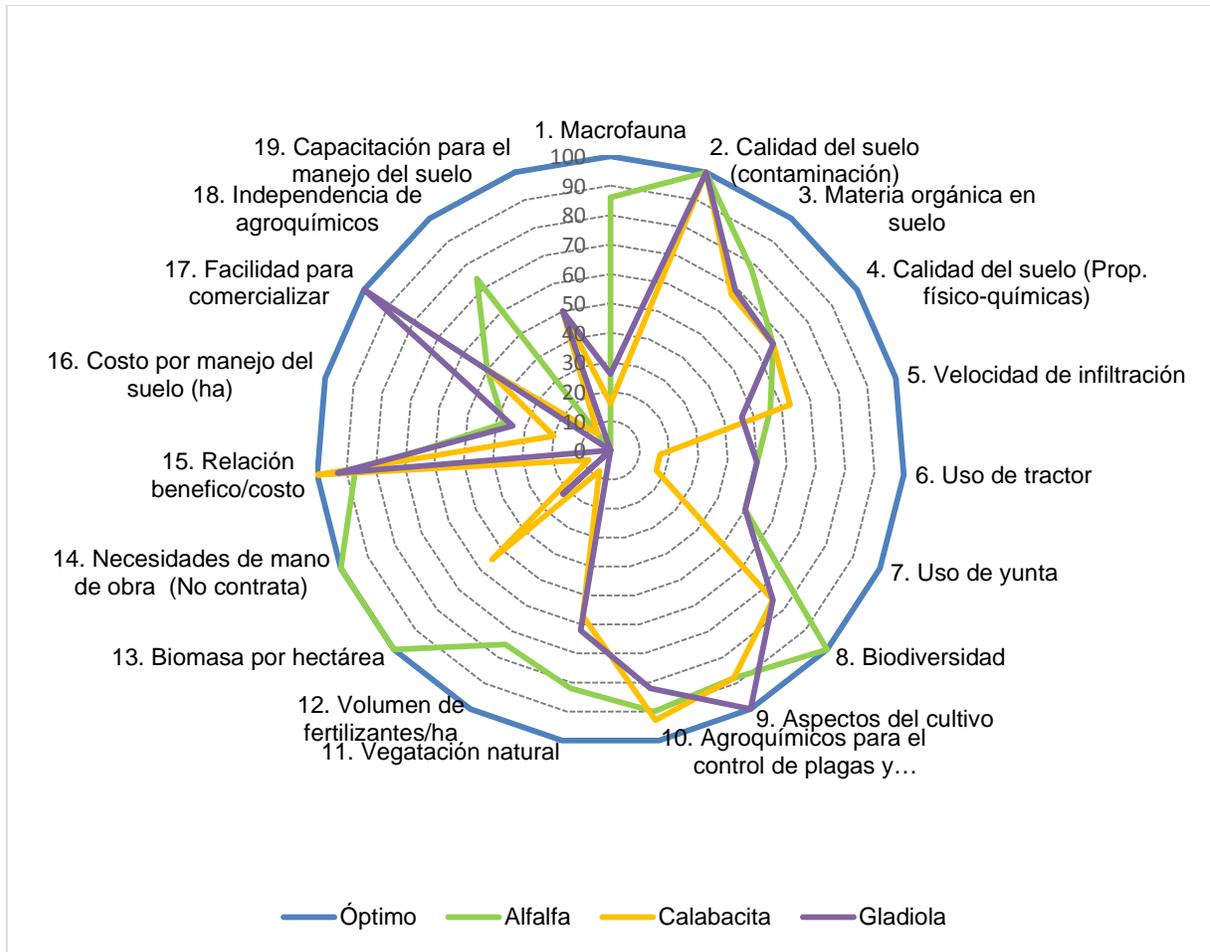


Figura 30. Estado de sostenibilidad del sistema suelo en los agrosistemas: alfalfa, calabacita y gladiola, en Cacaloxúchitl de Ayala, Huaquechula, Puebla
 Fuente: Elaboración propia a partir de datos de campo 2013-2014.

De los 19 indicadores evaluados para conocer la sostenibilidad del sistema de manejo del suelo para los 3 sistemas agrícolas, y estableciendo los siguientes criterios: sostenibilidad alta mayor del 70 %; medias entre 69 % y 50 % y baja menor de 50 %, se presentaron los siguientes resultados: En el sistema de manejo del suelo en alfalfa, es alta (12 indicadores están por arriba del 70 % de sostenibilidad, 5 entre 69 % y 50 % y, 2 por debajo del 50 %). En el sistema calabacita el estado de sostenibilidad es de media a baja (5 indicadores se encuentran por arriba del 70%, 7 entre 69 % y 50 % y 7 por debajo del 50 %), y el sistema cultivado con gladiola presenta una sostenibilidad media (existe un equilibrio en el número de indicadores: 6 arriba del 70 %, el mismo número se encuentra entre 69 % y 50 %, y 7 por debajo

del 50 %). Considerando este criterio, el orden del estado de sostenibilidad en el manejo del recurso suelo, es: alfalfa, seguido por la gladiola y en tercer lugar la calabacita. Si consideramos el porcentaje del área ocupada por cada sistema, tenemos el mismo orden: alfalfa 72.05 %, gladiola 54.0 % y calabacita 50.34 %.

El comportamiento de los indicadores, muestra que el manejo de suelo en los diferentes cultivos tiene diferentes puntos fuertes y débiles para cada agroecosistema; como ya se mencionó, el suelo cultivado con alfalfa es el que tiene el mayor número de indicadores en el óptimo, referidos a los aspecto ecológico: macrofauna, calidad del suelo por no contaminación, biodiversidad, aspectos del cultivo, menor uso de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades y biomasa, e indicadores socioeconómicos: necesidades de mano de obra (no contrata) y relación beneficio costo. Tanto el sistema calabacita y gladiola presentan indicadores óptimos o cercanos, como son: calidad del suelo por no contaminación, aspectos del cultivo, e indicadores socioeconómicos: relación beneficio costo y en el caso de la gladiola facilidad para comercializar.

En la generación de ingresos, los sistemas cultivados con calabacita y gladiola están en una mejor posición, a costa de disminuir los valores obtenidos en los indicadores de calidad ecológica de suelo e incluso con menores cantidades de biomasa obtenida a pesar de la cantidad de agroquímicos que ocupan. Como podemos ver en la parte de generación de ganancias los sistemas trabajados con alfalfa aparentemente tienen un menor valor, sin embargo a través del indicador de costo por manejo de suelo se puede ver que lo que se necesita para invertir en el trabajo de este recurso es mucho mayor en calabacita y gladiola en comparación con la alfalfa. Se necesitan mayores insumos, maquinaria, labores y mano de obra para estos dos últimos cultivos, situación que contrarresta la calidad de suelo que se presenta en los sistemas agrícolas analizados.

Los resultados anteriores se explican en parte porque los cultivos de gladiola y calabacita tienen como objetivo el mercado, lo que conlleva a prácticas que afectan

negativamente en mayor grado al recurso suelo. El manejo de estos dos cultivos, incorporan métodos que aseguran productos de calidad aceptables en el mercado: semillas híbridas, agroquímicos y maquinaria que demandan mayor mano de obra, energía y capital.

Este tipo de agricultura está enmarcada en términos más industriales, de acuerdo a sus fines de producción, los procesos biológicos son simplificados mediante la utilización de inputs externos ajenos al reacondicionamiento y reciclaje de la energía y materiales en ellos utilizados. Lo que se busca con ello uniformizar el medio ambiente local para estabilizar la producción, controlando al máximo el riesgo que pueda correrse sin importar las afectaciones a los demás componentes del sistema, perdiendo la estabilidad (Sevilla, 2009).

La dinámica en la que están inmersos estos dos cultivos (calabacita y gladiola), los coloca en un escenario de competitividad para poder ser colocados en el mercado, donde el objetivo final es obtener el mayor beneficio económico, sin considerar en muchos casos, o dejando en un segundo plano la degradación que pueda provocarse a los recursos naturales, en este caso al impacto negativo que pueden causar al suelo a través de lo que implican las prácticas de manejo.

Por otro lado tenemos que el cultivo de alfalfa requiere de prácticas menos invasivas para el manejo del recurso suelo, es un cultivo que requiere un “trabajo más sencillo”, utiliza menor cantidad de insumos e implementos externos y usa prácticas agronómicas más adecuadas a las condiciones locales.

La hipótesis señalada anteriormente hace referencia a la relación prácticas de manejo con calidad del suelo. Los resultados muestran que la alfalfa en comparación con los otros dos cultivos se encuentra más cerca del óptimo, a excepción del indicador de tiempo de infiltración, donde se encuentra en mejor posición el cultivo de gladiola. Es importante destacar que en el caso de los indicadores de calidad de suelo por contaminación y calidad con respecto a las propiedades físico-químicas, se

trata de indicadores compuestos por varios parámetros (Cuadro 21 y 22), donde a pesar que las pruebas estadísticas no muestren diferencias significativas entre los suelos de los diferentes cultivos, es posible ver las pequeñas variaciones existentes dejando claro que en la mayoría de los casos el suelo con alfalfa se encuentra en mejores condiciones.

Cuadro 21. Calidad de suelo

Parámetro/ Parcela	pH	CE	M.O. (%)	Nkjeldhal	P	CIC	Fe	Cu	Zn	Mn
Alfalfa	7.6	0.14	1.6	0.09	4	10.6	10	2	1.2	10
Calabacita	7.9	0.25	1.4	0.08	4	10.3	10	2	1.5	8
Gladiola	7.9	0.22	1.4	0.08	4	9.5	10	2	1.0	7

Fuente: Análisis de Laboratorio de fertilidad de suelos y química ambiental, COLPOS, 2014.

Cuadro 22. Contaminantes presentes en suelo

Metal pesado/ Parcela	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	V
Alfalfa	0.197	0.266	0.318	0.851	0.382	4.068
Calabacita	0.294	0.359	0.280	0.634	0.323	3.593
Gladiola	0.267	0.319	0.315	0.741	0.425	3.675

Fuente: Análisis de Laboratorio de fertilidad de suelos y química ambiental, COLPOS, 2014.

Los resultados de calabacita y gladiola se encuentran en condiciones muy similares con el valor obtenido en los diferentes indicadores evaluados, así como en los diferentes parámetros que integran los 2 indicadores de calidad de suelo (contaminación y propiedades físico-químicas). Labrador (2008) hace referencia a que el manejo del suelo está orientado a una gestión mayoritariamente productivista; aumentar los rendimientos es el principal objetivo. Sin embargo, aun cuando estos son los fines para la mayoría de los productores, no todos los cultivos reflejan la misma intensidad en su manejo. El manejo del cultivo de alfalfa está más orientado a prácticas tradicionales, por lo que presenta mejor condición en la calidad del recurso suelo, en comparación con la calabacita y la gladiola, que son cultivos que requieren un manejo con un enfoque más agroindustrial, consecuentemente, menor calidad del

suelo. Con ello se contrasta la hipótesis específica 1, resultando válida al no haber sido falsa.

La hipótesis específica número 2, señala: ***“Las prácticas que provocan la pérdida de calidad del suelo, son: la aplicación de agroquímicos, el uso de maquinaria, el riego con agua de baja calidad y la intensidad en el manejo del suelo.”***

Los sistemas evaluados se componen de prácticas tradicionales y agroindustriales; se presenta una combinación de éstas de acuerdo a sus posibilidades con el fin de buscar mejores resultados en el manejo de sus cultivos. La información obtenida en campo (en las 12 parcelas seleccionadas) nos permite ver que los 3 sistemas de cultivo estudiados tienen similitudes; sin embargo, en el cultivo de alfalfa se nota un manejo de suelo menos intensivo en el uso de maquinaria, ya que la mayoría de sus labores las realizan con yunta; otro aspecto, en gladiola y calabacita necesitan semillas que en muchos casos fueron modificadas genéticamente, y para el caso de la alfalfa utilizan semillas que van guardando de ciclos anteriores, o compran la semilla criolla de la región. En lo que refiere al riego, para los 3 casos tienen que hacer un uso combinado entre el agua de pozo y el agua residual (Cuadro 23). (Las prácticas específicas de cada cultivo se presentan en el Anexo 5).

Cuadro 23. Prácticas en los agroecosistemas

Práctica/ Parcela	Preparación del terreno	Siembra	Riego
Alfalfa	En su mayoría es a través del uso de yunta	Semillas propias y semilla originaria de la región	Se lleva a cabo con agua de pozo y agua residual
Calabacita	Mayor utilización de tractor para las labores	Semilla comprada no criolla	Se lleva a cabo con agua de pozo y agua residual
Gladiola	Mayor utilización de	Semilla comprada no	Se lleva a cabo con

	tractor para las labores	criolla	agua de pozo y agua residual
--	--------------------------	---------	------------------------------

NOTA: Información registrada de 12 parcelas (4 de alfalfa, 4 de calabacita y 4 de gladiola)
Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014

Considerando los volúmenes de agroquímicos por cultivo por hectárea, la gladiola requiere más de 1.0 t de fertilizantes y 7.6 kg y 10 l de plaguicidas; la calabacita 0.924 t de fertilizantes y 2.8 kg y 4.5 l de plaguicidas y, la alfalfa 0.254 t de fertilizantes y 6.9 kg y 2.6 l de plaguicidas, lo que significa que la gladiola es el cultivo más demandante de productos químicos externos, seguida de la calabacita y finalmente la alfalfa (Cuadro 24).

Cuadro 24. Cantidad de agroquímicos empleados por cultivo

Parcela	Fertilizantes		Plaguicidas		Promedio general
	Total	Promedio	Total	Promedio	
Alfalfa	988.5 kg	247.0 kg/ha	27.5 kg y 10.44 l	6.9kg/ha y 2.6 l/ha	254 kg/ha y 2.6 l/ha
Calabacita	3697 kg	924.2 kg/ha	11.2 kg y 18 l	2.8 kg/ha y 4.5 l /ha	927 kg /ha y 4.5 l/ha
Gladiola	4002.7 kg	1000.7 kg/ha	30.4 kg y 40.6 l	7.6 kg/ha y 10.1 l/ha	1008.3 kg/ha y 10.1 l/ha

NOTA: Información registrada de 12 parcelas (4 de alfalfa, 4 de calabacita y 4 de gladiola)
Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014

Respecto a la utilización de maquinaria para llevar a cabo sus labores en el suelo, la yunta sigue siendo una herramienta empleada en su totalidad para el caso del manejo de suelo en los 3 cultivos; en el caso del tractor se aprecia que no todos los productores de alfalfa (75 %) la usan para llevar a cabo sus labores, situación que para la calabacita y la gladiola se muestra como un equipo indispensable para el trabajo. Con respecto al uso de camioneta, los productores de alfalfa no cuentan con este vehículo 75 % los productores de calabacita poseen, y en el caso de la gladiola, 100 % cuentan con camioneta. Finalmente, solo uno de los productores que trabaja la alfalfa, renta una sembradora, los demás productores, tanto de alfalfa como de gladiola y calabacita hacen la siembra de forma manual (Cuadro 25). Los

productores de gladiola hacen uso de más equipo y consecuentemente mayor uso de combustible y mayor impacto en el suelo.

Cuadro 25. Maquinaria empleada

Maquinaria / Parcela	Yunta	Tractor	Camioneta	Sembradora rentada	Empacadora
Alfalfa	100	75	0	25	0
Calabacita	100	100	75	0	0
Gladiola	100	100	100	0	0

NOTA: Información registrada de 12 parcelas (4 de alfalfa, 4 de calabacita y 4 de gladiola)

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Señala Labrador (2008), el suelo como componente central en los agroecosistemas, es vulnerable, con procesos de lenta formación y renovación, que presta múltiples servicios al ser humano. La calidad del suelo resulta muy importante para el establecimiento de un acertado manejo enfocado en prácticas que no propicien su pérdida. En la actualidad, los productores se preocupan por cubrir todas las necesidades del recurso suelo con la finalidad de poner en menor riesgo sus cultivos, Sin embargo, acuden a insumos externos del sistema; si un suelo es deficiente en nutrientes, se recurre a la aplicación de fertilizantes; si no almacena suficiente agua de lluvia, se proporciona riego; si un suelo se compacta demasiado y el agua no penetra, se usan implementos como el arado; y si se presenta alguna enfermedad o plaga, se aplican pesticidas. El uso indiscriminado de este tipo de prácticas como la aplicación de grandes cantidades de agroquímico, el uso excesivo de maquinaria, el riego con aguas de calidad baja, impactan negativamente en el recurso suelo.

Con respecto a los sistemas evaluados, y la condición de su suelo que ya fue revisada, podemos ver con los siguientes indicadores (Cuadro 26), que los sistemas que se ven en la necesidad de utilizar en mayor grado las practicas que ya se ha expuesto como las que llevan a una mayor inestabilidad del recurso suelo con respecto a su calidad, son calabacita y gladiola, resultando un suelo con mayores deficiencias en comparación con el suelo del cultivo de alfalfa. Con respecto al riego,

debe mencionarse que los productores hicieron referencia a que ellos prefieren ocupar el agua de tipo residual, esto se debe a que ellos consideran que este tipo de agua aporta nutrientes al suelo y que beneficia a los cultivos, a diferencia del agua de pozo la cual consideran que “lava” los suelos, es decir que le quita propiedades benéficas para los cultivos. Sin embargo, este es un aspecto delicado para el caso de la producción de alimentos (en este caso la calabacita), ya que como se ha mostrado en los análisis de agua, esta tiene concentraciones (aunque son bajas) de diferentes metales pesados, que con el tiempo pueden volverse en riesgo importante para el consumidor de los productos que son regados con este tipo de agua.

Cuadro 26. Indicadores y calidad de suelo

Práctica/ Parcela	Vol. de agro- químicos	No. de prácticas con tractor	Calidad del Agua	Macrofa- una presente en 1 m ²	% Materia orgánica en suelo	Infiltra- ción (min.)	Calidad del suelo
Alfalfa	254 kg/ha y 2.6 l/ha	4	Media	23.3	1.56	27.4	Niveles adecuados
Calabacita	927 kg /ha y 4.5 l/ha	4	Media	4.4	1.36	26	Niveles adecuados
Gladiola	1008.3 kg/ha y 10.1 l/ha	8	Media	7	1.39	29.4	Niveles adecuados

Fuente: análisis de laboratorio e información de campo, 2013-2014.

Actualmente, muchas de las formas de explotación del suelo, está acelerando su degradación y afectando su fertilidad natural, lo que lleva a poner en peligro su productividad. No olvidemos que la causa del deterioro de este recurso tiene su origen en la satisfacción de ciertos factores socioeconómicos, en la sobreexplotación de la capacidad de uso de las tierras y en prácticas de manejo inadecuadas, como las que se han mencionado en la hipótesis y que en la fase de campo de esta investigación se corroboraron: En esta situación que responde a las necesidades socioeconómicas, deja de lado los factores ambientales, originando una crisis que avanza rápidamente con la destrucción de la base productiva, que son los recursos naturales. Con ello se contrasta la hipótesis específica 2, resultando válida al no haber sido falsa.

Finalmente, se planteó como hipótesis general de este estudio, que ***los sistemas de manejo campesino del suelo que emplean más prácticas agroindustriales, por ser más demandantes de agroquímicos y de maquinaria, han deteriorado en mayor grado el recurso suelo, mostrando menor sostenibilidad en relación a los sistemas de manejo que usan prácticas más tradicionales.***

Con lo que se ha discutido en las dos hipótesis específicas, se ha mostrado que los cultivos calabacita y gladiola que requieren prácticas que involucran procesos más tecnificados tendientes a un manejo más agroindustrial, deterioran de manera más significativa la calidad del recurso central del agroecosistema, el suelo.

Con respecto a los indicadores que tratan sobre aspectos ambientales, el cultivo de alfalfa presentó valores más altos que los otros dos cultivos, lo que lo acerca más al óptimo para considerarse el cultivo con un manejo de suelo más sostenible. Sin embargo, los indicadores socio-económicos, dejan ver que los cultivos que se rigen bajo un manejo más agroindustrial, se encuentran más fortalecidos con respecto a la relación beneficio-costos, la facilidad de comercializar su producto y la capacitación que reciben los productores para garantizar su producción.

De manera general y considerando el conjunto de 19 indicadores evaluados para cada cultivo con respecto al manejo del suelo, la alfalfa muestra menor impacto en la degradación del suelo. Con respecto a la calabacita y la gladiola, en términos generales no hay una gran diferencia en los valores obtenidos en los indicadores, pero de manera estricta el cultivo de gladiola se encuentra en mejor posición en relación a la calabacita.

La hipótesis planteada se han contrastado y probado a través del trabajo de campo, y ratificado por la percepción de los productores que consideran a la gladiola y a la calabacita como los cultivos más rentables. Así mismo, la percepción que

tienen sobre las consecuencias por el tipo de agua que utilizan para el riego, y de las posibles consecuencias que ésta puede traer a largo plazo en la calidad del suelo y las repercusiones a la salud humana. Con ello queda comprobada la hipótesis general, resultando válida al no haber sido falsa.

Es importante asentar que los productores están conscientes de que los suelos que trabajan ahora se encuentran en desventaja con respecto a la calidad que presentaban antes; tienen claras las prácticas (uso de agroquímicos) que están llevando a un mayor deterioro de este recurso y de las posibles consecuencias (una disminución e incluso nula producción); sin embargo, dadas sus necesidades de colocar sus productos en el mercado y garantizar un beneficio económico se ven en la necesidad de seguir recurriendo en prácticas no favorables para la conservación del recurso suelo, ya que como se muestra en la evaluación de sostenibilidad en el manejo del suelo de los 3 diferentes cultivos, las fortalezas de los cultivos más agroindustriales, son las debilidades de los cultivos que se rigen bajo un esquema de prácticas más tradicionales, y viceversa, lo que pareciera indicar que la optimización de los componentes de la sostenibilidad no puede darse de manera simultánea.

Con respecto a lo anterior, Bautista (2004), considera que el manejo sostenible puede significar distintas cosas según la función principal del recurso o del momento en que se hace una evaluación. No parece posible optimizar simultáneamente cada uno de los tres componentes de la sostenibilidad (social, económico y ambiental), por lo que lo más conveniente es definir ciertos límites aceptables para cada uno de ellos y optimizar primero uno, procurando que la intensidad de los otros dos se ubique en el límite aceptable para ese momento y condición particulares. Esto llevará en un futuro a que los niveles obtenidos en el presente, se acerquen a los óptimos ideales para cada uno de los tres componentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con base en el problema de investigación, en los objetivos e hipótesis de estudio, orientados a evaluar la sostenibilidad del recurso suelo con diferente intensidad productiva y las prácticas que impactan en la pérdida de calidad, con fines de proponer alternativas para un mejor manejo en Cacaloxúchitl de Ayala, Puebla, se concluye lo siguiente:

Para cada cultivo que trabajan los productores existen prácticas que conforman el sistema de manejo de suelos. Cada cultivo demanda diferentes prácticas, ya sean propias de los campesinos o nuevas actividades introducidas por ellos mismo y por agentes externos. Este fenómeno se manifiesta de manera general en la comunidad de la siguiente forma:

- a) Para la preparación del suelo (surcado) se usa la yunta, pero la mayoría utiliza el tractor para realizar el rastreo y barbecho. El uso de maquinaria pesada implica un efecto negativo en la calidad del suelo.
- b) El agua para riego proviene de pozo profundo, agua residual y en ocasiones la combinación de ambas. Al utilizar agua residual pueden llegar a introducirse residuos industriales con metales pesados, hidrocarburos y lixiviados de los depósitos de residuos domésticos.
- c) El uso excesivo de agroquímicos constituye otra práctica que perturba el estado del suelo. Los productores señalan que tienen que hacer uso de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas etc., por ser la única alternativa que tienen para asegurar y mantener su producción.

Los objetivos de los productores son lograr una producción estable con altos niveles de rentabilidad; la conservación del suelo queda en un segundo plano dentro

de sus prioridades, más aún cuando requiere de un trabajo adicional o inversión de mayores recursos sin resultados comprobados por el productor.

Los productores están conscientes del daño que provocan en el suelo las practicas señaladas, pero para muchos de ellos es el camino más viable y seguro para mantener la producción, aunque están dispuestos a realizar otras prácticas para cambiar, solo que les gustaría ver efectos inmediatos sin necesidad de invertir más de lo que ya invierten.

Considerando esta realidad de los productores, las acciones que se propongan para recuperar y mantener la calidad del suelo, debe hacerse con base en tecnologías sencillas y económicas que se adapten fácilmente a sus propios sistemas de producción. La implementación de las prácticas de manejo deben desarrollarse considerando las prioridades, capacidades y objetivos de cada productor, con la finalidad de garantizar mayor participación y aceptación para manejar ecológicamente el recurso suelo orientada a la estabilidad productiva y económica.

Respecto al estado de sostenibilidad del suelo con base a los principios de la agroecología, en el sentido de que, la sostenibilidad depende de las prácticas que se realicen para su manejo, y éstas dependen de los fines de la producción; es decir, los cultivos con fines de mercado dependerán más de recursos externos de origen industrial; en tanto, los cultivos con objetivos sociales-culturales (menor mercado), usa menos éste tipo de insumos.

Los resultados muestran que el suelo manejado con alfalfa resultó más sostenible en relación a los suelos manejados con calabacita y gladiola; estos últimos utilizan mayor maquinaria para la preparación del suelo, mayor adición de fertilizantes y plaguicidas de origen industrial y alto uso de materiales vegetativos. El uso excesivo de estas prácticas e insumos provoca mayor dependencia del exterior del agroecosistema incluyendo información para su manejo.

El suelo manejado con cultivo de alfalfa mostró mayor sostenibilidad en indicadores referentes a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y sus puntos críticos en capacitación, relación beneficio-costo y comercialización; mientras que los suelos con cultivos de gladiola y calabacita más relacionados con el mercado, presentaron un grado de sostenibilidad menor debido a las prácticas empleadas para poder asegurar mayor producción; los óptimos resultaron en los aspectos: relación beneficio-costo, oportunidades de comercialización, y a la capacitación recibida, y sus puntos críticos están en las propiedades de la calidad del suelo y la dependencia de insumos externos provenientes del exterior.

Un indicador importante en la sostenibilidad del suelo, es el costo que representa su manejo. El de menor costo fue la alfalfa en comparación a los costos de manejo de la calabacita y gladiola que requieren mayor inversión en tractor y aplicación de agroquímicos que impactan negativamente en las propiedades del suelo.

Con lo señalado anteriormente, fue posible cumplir los objetivos y probar las hipótesis planteadas en esta investigación. Con la metodología utilizada se logró el enfoque interdisciplinario que sostiene la agroecología para los sistemas complejos como los estudiados, y sirvió para avanzar en los estudios de la sostenibilidad de los recursos naturales como el suelo.

Recomendaciones

El enfoque del desarrollo sostenible implica la satisfacción de las necesidades humanas y también un equilibrio ambiental. Llevarlo a la práctica no es fácil, existen una serie de factores naturales, sociales, económicos y políticos que al conjuntarse complican la toma de decisiones para llevar a cabo un manejo de suelo con enfoque de sostenibilidad.

Pretender lograr un manejo sostenible del suelo requiere de muchos factores y esfuerzos, por lo que resulta muy importante rescatar, revalorar y enriquecer el conocimiento campesino, y con esto potenciar sus propias estrategias de producción, las cuales no impactan de manera drástica al recurso suelo, que introducir prácticas y enfoques totalmente desconocidos. Debemos voltear hacia aquellas técnicas de manejo campesino de los suelos que se han mantenido a través del tiempo y que han permitido su conservación y el mantenimiento.

De acuerdo a los resultados representados en el gráfico tipo amoeba, la estrategia a corto plazo es incidir en los indicadores más débiles, por lo que se proponen las siguientes acciones con enfoque agroecológico:

- a) Reducción de aplicación de fertilizantes. Es necesario iniciar un proceso de disminución de adición de fertilizantes al suelo y sustituirlos por abonos orgánicos de origen vegetal y animal. Los propios productores han experimentado que con la aplicación de estiércoles de sus animales el suelo mejora su calidad. Asimismo, existen diversas recomendaciones técnicas basadas en investigación que muestran las bondades de los abonos orgánicos.
- b) Reducción de aplicaciones de plaguicidas (insecticidas, fungicidas y herbicidas). Si bien resulta difícil revertir el problema de resistencia de organismos plaga y malas hierbas, es urgente disminuir la aplicación de agrotóxicos e iniciar la aplicación de prácticas alternativas como el Manejo Agroecológico de Plagas (MAP), control biológico, control físico y cultural.
- c) Disminuir el uso de maquinaria. Los cultivos vinculados al mercado demandan un uso intensivo del suelo. La única forma de disminuir el paso de maquinaria es mejorando la estructura del suelo con la incorporación de materia orgánica.

- d) Mejorar la calidad del agua de riego. Es necesario introducir algunas prácticas para mejorar la calidad del agua residual. Esta actividad debe ser a nivel regional que justifique la instalación de una planta tratadora de aguas residuales del río Nexapa y, que beneficie a todos los usuarios de esta fuente de agua.

- e) Rotación de cultivos. Se recomienda hacer rotación de cultivos que permitan una biodiversidad funcional. En opinión de los productores, existen cultivos que mejoran el suelo, como: alfalfa, el frijol, el cacahuate y el maíz. Tratar de sembrar intercalarlos con los que más daño hacen al suelo: sorgo, la gladiola, la jícama y el camote.

La diversificación productiva y el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles en los agroecosistemas, y el reciclaje de los recursos de cada sistema agrícola serán estratégicos para garantizar la vida del suelo, tener producciones aceptables y cumplir con los objetivos económicos de los productores. El éxito de este proceso de recuperación y conservación del suelo dependerá de la competitividad de las propuestas que tengan para la implementación o modificación de las prácticas que conforman el manejo de este recurso. Sin embargo, existen dos actividades que son claves.

1) Información a los productores. Si bien, los productores tienen conocimiento sobre las diversas prácticas que favorecen o perjudican al suelo, es necesario acercarles información que les permita hacer un mejor uso de los recursos naturales y materiales. Se requiere capacitación sobre el manejo agroecológico del suelo que incluya todas las prácticas antes descritas, con el objetivo de que se inicien un proceso de incorporación de abonos orgánicos y que estén conscientes que los resultados se verán en el corto y largos plazos, por lo que se requiere de un proceso paulatino.

2) Implementación de un programa con enfoque agroecológico. Desde las instituciones gubernamentales y no gubernamentales se requiere de un programa alternativo al manejo convencional. Esto demanda una nueva filosofía, educación, formación de recurso humanos, investigación participativa, mercados alternativos y un nuevo movimiento social.

La nueva propuesta de producción y comercialización demanda en principio que los productores estén convencidos que existen otras formas de producir. Para ello se necesita otra forma de hacer investigación con enfoque inter, pluri y transdisciplinar, que permita rescatar, sistematizar y revalorar el conocimiento campesino e introducir los conocimientos de la ciencia con enfoque de sostenibilidad. Se trata de reorganizar los agroecosistemas y su manejo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abasolo, P. E. 2011. "Revalorización de los saberes tradicionales campesinos relacionados con el manejo de tierras agrícolas". Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana. México.
- Adams, M. A. 1995. "Fundamentos de Química de Suelos". Colección Estudios Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Altieri, 2002 citado en La Vía Campesina. 2011. "La agricultura campesina sostenible puede alimentar al mundo". Yakarta, Indonesia
- Altieri, M. A. 1985. "Agroecología. Bases Científicas de la Agricultura Alternativa". Valparaíso: CETAL, Chile.
- Altieri, M. A. 1991. "¿Por qué estudiar la agricultura tradicional?". División de Control Biológico -Universidad de California, Berkeley. Estados Unidos.
- Altieri, M. Á. 2000. "Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria". Universidad de California, Berkeley. USA.
- Altieri, M. A. 2002. "Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables en Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable". Sarandón S J (Ed). Ediciones científicas Americanas. Argentina.
- Altieri, M. Á. y Nicholls, C.I. 2000. "Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable". Serie de textos Básicos para la formación ambiental. ONU-PNUMA, pp 235.

- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2007. "Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación". AEET. Ecosistemas. España.
- Arias, I. R. 2001. "Maquinaria Agrícola". Universidad Católica de Temuco. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Chile.
- Asociación ETC Andes / Fundación ILEIA. 2007. "Agricultura sostenible. Ideas básicas y experiencias". Perú.
- Astier, M., Maass, M. M. y Etchevers, B. J. 2002. "Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable" Agrociencia, septiembre-octubre, año/vol. 36, número 005 Colegio de Postgraduados Texcoco. México.
- Astier, M.. 2006. "Medición de la sustentabilidad en sistemas agroecológicos". VII Congreso SEAE Zaragoza. Michoacán, México.
- Badía, D. 1992. "Suelos afectados por sales" Butll. Soc. Cat. Cien. Vol. 13. Barcelona, España.
- Banco Mundial. 1998. Indigenous knowledge for development: A framework for action, Washington: Knowledge and Learning Centre, Africa Region, World Bank, Disponible en: <http://www.worldbank.org/afr/ik/ikrept.pdf>. Visitado 25 de febrero de 2014.
- Barkin, 2000 citado en Salinas, A. S. y López, M. V. 2012. "Los saberes campesinos y la universidad: ¿vía para el desarrollo sostenible, la independencia intelectual y la interculturalidad?". Revista Congreso Universidad. Vol. I, No. 1. Universidad de las Américas. Puebla. México.

- Bautista, C. A., Etchevers, B., Del Castillo, R. y Gutiérrez, C. 2004. "La calidad del suelo y sus indicadores". En: Ecosistemas. México.
- Beare, M. H., Coleman, D.C., Crossley Jr., D.A., Hendrix, P. F. y Odum E. P. 1995. "A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling". Plant Soil 170. E.U.
- Bertalanffy, V. L. citado en FAO. 2005. "I. Género y enfoque de sistemas: principales reflexiones lecciones de Nicaragua". Roma, Italia.
- Brundtland, 1987 citado en Duarte, S. N. 2005. "Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras". Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Escuela de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica.
- Canet, R. 2007. "Aplicación agrícola de materia orgánica: Importancia y aspectos generales". Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). España.
- Capra, 1999 citado en Vega, D. J. 2006. "Construcción de un modelo de sistema de producción agrícola desde la teoría de la autopoiesis". Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Administración. Universidad Nacional del Colombia. Colombia.
- Carrol, et al., 1990 citado en Altieri, M. A. 2002. "Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables en Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable". Sarandón S J (Ed). Ediciones científicas Americanas. Argentina.

- CEPAL. 1986. "El desarrollo agrícola-rural de América Latina desde la perspectiva ambiental". Agricultura y medio ambiente en América Latina, Editorial Universitaria Centroamericana (EDUCA) y Sociedad Interamericana de Planificación (SIAP), Colección AULA, San José de Costa Rica.
- Condiza, C. A. 1998. "Agricultura Sostenible". Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura. Colombia.
- Contreras, 1994 citado en Pavón, M. J. 2003. "La sostenibilidad de la producción agroecológica. Estudio realizado en predios de Toacazo Y Pimampiro, Ecuador". Chile.
- Conway, R. G. 1990. "Agroecosystems. Systems theory applied to agriculture and food chan". A. G. W. J. a. P. R. Street. University Reading, Elsvier Science.
- Conway, R. G. y Pretty, J.N. 1991. "Unwelcome harvest: agriculture and pollution". London: Earthscan Publications Ltd. Inglaterra.
- Conway, R. G. 1994. "Sustainability in Agricultural Development: Tradeoffs between Productivity, Stability, and Equitability". Journal for Farming Systems and Research-Extensions.
- Cufre G., Rodriguez C. y Pagliaricci H. 2002. "Sustentabilidad". FAV UNRC. www.produccionanimal.com.ar Visitado 25 de diciembre de 2014
- De Rosnay, J. 1975. "Le Macroscopie" Ed. Le Seuil. Paris, Francia.
- Deponti et al. 2002 citado en Duarte, S. N. 2005. "Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras". Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Escuela de Postgrado,

Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica.

Doran, J. W., y Parkin, T. B. 1994. "Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment". Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA.

Ember, C. y Ember, M. 1997. Antropología cultural. Prentice Hall. España.

Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. (S.F.). Estado de Puebla. México.

Escobar, 1993 citado en Pavón, M. J. 2003. "La sostenibilidad de la producción agroecológica. Estudio realizado en predios de Toacazo Y Pimampiro, Ecuador". Chile.

ETC, 2009 citado en La Vía Campesina. 2011. "La agricultura campesina sostenible puede alimentar al mundo". Yakarta, Indonesia.

Everett, 1991 citado en Vega, D. J. 2006. "Construcción de un modelo de sistema de producción agrícola desde la teoría de la autopoiesis". Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Administración. Universidad Nacional del Colombia. Colombia.

FAO. 1989. "Sustainable development and natural resources management". Documento de la 25ava Conferencia, Documento C 89/2 - Sup. 2. FAO, Roma.

FAO. 1996. "Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas". Roma, Italia: FAO.

FAO. 2000. "Agriculture towards 2000". op. cit. Roma, Italia

- FAO. 2002. "Sustainable agriculture and rural development: Reporting on progress for chapters 10, 12 and 14 of Agenda 21." Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, Johannesburg, del 26 de agosto al 4 de septiembre de 2002. FAO, Roma. www.fao.org/wssd/Sard/index-en.htm visitado en 4 de abril de 2014.
- FAO. 2005a. "I. Género y enfoque de sistemas: principales reflexiones lecciones de Nicaragua". Roma, Italia.
- FAO. 2005b. "Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo". Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de Plantas. Roma, Italia.
- FAO. 2006. "Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional". Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. Roma, Italia.
- FAO. 2007. "El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2007. Pagar a los agricultores por los servicios medioambientales". Roma, Italia.
- FAO. 2008. "Aumenta la degradación del suelo". Roma, Italia.
<http://www.fao.org/NEWSROOM/es/news/2008/1000874/index.html> visitado 18 de febrero de 2014.
- Ferrera, P. R. 2004. "Acerca de los plaguicidas y su uso en la agricultura". Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, No. 6. Venezuela.
- Fitz P. E. A. 1993. "Suelos: su formación, clasificación, distribución". CECSA. 5ta reimpresión. México.

- Freire, P. 1998. "La educación como práctica de la libertad". Editorial siglo XXI. México.
- Galindo, M. P. 2004. "La seguridad alimentaria en manos del libre comercio". Madrid. España.
- García, E. 1998. "Climas (Clasificación de Köeppen, modificado por García)" Escala 1:1000,000. CONABIO. México.
- García, F. O. 2012. "Agricultura sustentable y las técnicas de manejo del recurso suelo". Argentina.
- García, P. M. 1975. "Teoría general de sistemas". Revista de Occidente, nº 2. España.
- Gascó, M. J. M. 1998. "Problemas y prácticas diferenciadas del control de la fertilidad en distintas zonas edafoclimáticas. En: La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica". Ed. Visor. Fundación Argentaria. Madrid, España.
- Gliessman, S R. 2002. "Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible". CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Gliessman, S. R., Guadarrama-Zugasti, C., Mendez, E. V., Trujillo, L., Bacon, C. y Cohen, R. 2010. "Agroecología: un enfoque sustentable de la agricultura ecológica". Costa Rica.
- Gomero, O. L. y Velásquez, A. H. 1999. "Manejo ecológico de suelos. Conceptos, experiencias y técnicas". Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos – RAAA. Lima, Perú.

- Gómez, 2006 citado en Salinas, A. S. y López, M. V. 2012. "Los saberes campesinos y la universidad: ¿vía para el desarrollo sostenible, la independencia intelectual y la interculturalidad?". Revista Congreso Universidad. Vol. I, No. 1. Universidad de las Américas. Puebla. México.
- González, F. R., Gerritsen R. W. y Malischke K. T. 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, Vol. VII, núm. 25. México.
- González, J. A. 2003. "Cultura y agricultura: transformaciones en el agro mexicano". Universidad Iberoamericana. México.
- Gregorich, E. G. y Carter, M. R. 1997. "Soil quality for crop production and ecosystem health. Development in Soil Science". En: "Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos". 2008. Agricultura técnica en México. México.
- Guanche, G. A. 2012. "Evaluación del procesos de conversión a agricultura ecológica". Agrocabildo. Tenerife, España.
- Guzmán Casado, González de Molina y Sevilla Guzmán. 2000, citado en Sevilla, G. E. 2009. "La agroecología como estrategia metodológica de transformación social". Documento Electrónico. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos de la Universidad de Córdoba. España.
- Hünemeyer, J. A., De Camino, R. y Müller, S. 1997. "Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales". IICA/GTZ. San José, Costa Rica.

- INCA, SIAP. 2012. "Reglas de Operación y Programa Sectorial 2007-2012 de la SAGARPA". México.
- INEGI. 1990. "Información Nacional, por entidad federativa y municipios". México.
- INEGI. 1994. "Atlixco, Estado de Puebla". Cuaderno estadístico municipal. México.
- INEGI. 1995. "Información Nacional, por entidad federativa y municipios". México.
- INEGI. 2000. "Información Nacional, por entidad federativa y municipios". México.
- INEGI. 2005. "Información Nacional, por entidad federativa y municipios". México.
- INEGI. 2009. "Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Huaquechula, Puebla". México.
- INEGI. 2010. "Información Nacional, por entidad federativa y municipios". México.
- IPCC, 2007. "Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático". Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación). IPCC, Ginebra, Suiza.
- Kish, L. 1995. "Diseño estadístico para la investigación". CIS. Madrid, España.
- Knight, C.G. 1980. "Ethnoscience and the African Farmer: Rationale and Strategy", en D. Brokenshaw et al. (eds.), *Indigenous Knowledge Systems and Development*, University Press of America. Estados Unidos.

- La Vía Campesina. 2011. "La agricultura campesina sostenible puede alimentar al mundo". Yakarta, Indonesia.
- Labrador. J. 2008. "Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica". Sociedad Española de Agricultura Ecológica. España.
- Leary, J. y Skoog, D. 1994. "Análisis instrumental". Madrid: McGraw-Hill. 4th. España.
- Leff, E., Ezcurra, E., Pisanty, I. y Carabias, J. 2002. "La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Li, P. H. 2007. "Tendencias mundiales y su impacto en el manejo de los recursos naturales". Arch. Latinoam. Prod. Anim. Vol. 15. Perú.
- Liess, M. y Schulz, R. 1999. "Linking insecticide contamination and population response in an agricultural stream". Enviro. Toxicol. Chem. 18:1948-1955. Estados Unidos.
- Luzuriaga, C. 2001. "Curso de edafología general". I.A.S.A. ESPE. Quito, Ecuador.
- Malagón, R. y Prager, M. 2001. "El enfoque de sistemas: una opción para el análisis de las unidades de producción agrícola". FERIVA S. A. Colombia.
- Marshall, C. y Rossman, G. B. 1995. "Designing qualitative research". Newbury Park, CA: Sage. E.U.
- Martínez, A. J. 1999. "Economía, política y medio ambiente: la justicia ambiental". En: Navarro Yáñez, C. J. (coord.). Siglo XXI, siglo de la tierra. Medio ambiente, política y sociedad. INET. España.

- Martínez, S. T. 2000. "El pequeño riego en México: por una socioeconomía del agua". En: Palerm Viqueira, J. y Martínez Saldaña, T. (Editores). Antología sobre pequeño riego. Vol. II, organizaciones autogestivas. Colegio de Postgraduados. D. F., México.
- Masera, O. R, Astier, M. y López, R. S. 1999. "Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: el marco de evaluación MESMIS". GIRA. Mundi-Prensa e Instituto de Ecología-UNAM, México.
- Méndez, I., Namihira, D., Moreno, L. y Sosa C. 1990. El protocolo de investigación. Lineamientos para su elaboración y análisis (2ª edición) Trillas. México.
- Morin, E. 1999 citado en Salinas, A. S. y López, M. V. 2012. "Los saberes campesinos y la universidad: ¿vía para el desarrollo sostenible, la independencia intelectual y la interculturalidad?". Revista Congreso Universidad. Vol. I, No. 1. Universidad de las Américas. Puebla. México.
- Nakashima, D. y M. Roué. 2002. "Indigenous Knowledge, Peoples and Sustainable Practice" in P. Timmerman (Ed.) Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 5. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.
- Nario M.A., Pino N.I., Parada C.A.M., Rouanet M.J.L., Barrientos L. y Montenegro A. 2001. "Efecto de rotación de cultivos en el balance de nitrógeno (15N), en labranza conservacionista". R.C. Suelo Nutr. Veg. dic. 2001, vol.1, no.2 [9], p. 42-48.
- Navarro, A. J., Aguilar, A. I. y López-Moya, J. R. 2007. "Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas". Ecosistemas 16 (2): 10-25. Valencia, España.

- Núñez, J. 2004. "Los saberes campesinos: implicaciones para una educación rural". Investigación y Postgrado v.19 n.2 Caracas. Venezuela.
- Nuñez, M.A. 2005. "Bases científicas de la agricultura tropical sustentable". Motion Magazine. Barinas, Venezuela.
- Ocampo, F. I. 2004. "Desarrollo Sostenible/Sustentable". Material presentado en el curso de teorías de desarrollo II. México.
- Ocampo, F. I. 2004. "Gestión del agua y sustentabilidad de los sistemas de pequeño riego. El caso del canal San Félix, Atlixco, México". Tesis doctoral. Universidad de Córdoba España.
- Odum, E. Pleasants. 1984. "Properties of agroecosystems". En: Lowrance, R., B.R., Stinner, y G.J., House (eds). Agricultural Ecosystems. John Wiley and Sons. E.U.
- Olivera, J. 2001. "Manejo agroecológico del predio. Guía de planificación". CEA. Quito, Ecuador.
- Oncins de Frutos, M. 1999. "Encuestas: metodología para su utilización". Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. España.
- Ortiz, S. C. A. 1990. "Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas, Serie Cuadernos de Edafología 15". Colegio de Postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, México
- Pavón, M. J. 2003. "La sostenibilidad de la producción agroecológica. Estudio realizado en predios de Toacazo Y Pimampiro, Ecuador". Chile.

- Perales, A., Loli, O., Alegre, J. y Camarena, F. 2009. "Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum L.*)". Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Peralvo, L. D. 2010. "Mecanización en la agricultura". Editora Agrytec, Quito, Ecuador.
- Pérez, B. M. 2007. "Sistema Agroecológico Rápido de Evaluación de Calidad de Suelo y Salud de Cultivos". Programa Oficial de Postgrado en Agroecología 2006-2007, de la Universidad de Córdoba y la Universidad Internacional de Andalucía. Espada.
- Pla, S. I. 2008. "X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo". Quito, Ecuador.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003." Edafología para la agricultura y el medio ambiente". 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Pretty, 1995; Altieri et al. 2000 citado en La Vía Campesina. 2011. "La agricultura campesina sostenible puede alimentar al mundo". Yakarta, Indonesia.
- Ramos, P. J. M., Del Amo, S. R. y Arévalo, J. A. 1996. "Diversidad y tipos de agroecosistemas: consideraciones para diseño". UAM-Xochimilco. Desarrollo sostenible de los recursos naturales tropicales. Pronatura. México.
- Reina, B. J. 2000. "La agronomía desde la complejidad". Extraído de: <http://www.agbioinfo.com/literatura/agricultura/agron-com.pdf> visitado 3 de marzo de 2014
- Rigby y Cáceres, 2001 citado en Duarte, S. N. 2005. "Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras". Tesis para obtener el

grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Escuela de Postgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica.

Rivas, 1997 citado en Ocampo, F. I. 2004. "Desarrollo Sostenible/Sustentable". México.

Rivera, M. del C. 2011. "Innovación, desarrollo rural y soberanía alimentaria enseñanzas a través de un estudio de caso en el sector agroalimentario en México: La producción de biofertilizantes". En: Los sistemas agroalimentarios localizados en México. Desafíos para el desarrollo rural y seguridad alimentaria. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Romera, P. M. y Guerreo, L. 2007. "Agricultura Ecológica". Infoagro Systems. Chile.

Romero, G. y Bonilla, N. 2003 "Contaminación bacteriológica en agua y plantas de lechuga en Puebla, México". Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 3ra ed. México: Sequeiro. México.

Rossi, P. H. y Freeman, H. E. 1993. "Evaluation: A systematic approach". Newbury Oark: Sage. E.U.

Salinas, A. S. y López, M. V. 2012. "Los saberes campesinos y la universidad: ¿vía para el desarrollo sostenible, la independencia intelectual y la interculturalidad?". Revista Congreso Universidad. Vol. I, No. 1. Universidad de las Américas. Puebla. México.

Sánchez, B. M. I. 2003. "Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo Valladolid". Tesis de doctorado. Universidad de Valladolid. España.

- Sánchez, Q. A. 2013. "La importancia del riego en la agricultura". El Universo. Colombia.
- Sanchis, P. J. R. 1999. "Las estrategias de desarrollo local: aproximación metodológica desde una perspectiva socio-económica e integral". Departamento de dirección y administración de empresas, universidad de valencia. España.
- Sauve, S., Henderson, W. y Allen, H. E. 2000. "Solid- Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter". Environmental Science Technology. E.U.
- Schmuck, R. 1997. "Practical action research for change". Arlington Heights, IL: IRI/Skylight Training and Publishing. E.U.
- SEMARNAT y CP. 2003. "Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre den la República Mexicana, escala 1:250000. Memoria Nacional 2001-2002". México.
- SEMARNAT. 2012. "Informe de la Situación del Medio Ambiente en México". Compendio de Estadísticas Ambientales Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. México.
- Sepúlveda, S.. 2002. "Desarrollo Sostenible Micro-regional. Métodos para Planificación Local". San José, Costa Rica.
- Sevilla, G. E. 2001. Material presentado en el curso de doctorado ciclo 2000/2001: Bases ecológicas de la agroecología citado en Ocampo, F. I. 2004. "Desarrollo Sostenible/Sustentable". Material presentado en el curso de teorías de desarrollo II. México.

- Sevilla, G. E. 2009. "La agroecología como estrategia metodológica de transformación social". Documento Electrónico. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos de la Universidad de Córdoba. España.
- Sevilla y Woodgate, 1997; Sachs, 1997; Jiménez, H., 2000 citado en Ocampo, F. I. 2004. "Desarrollo Sostenible/Sustentable". México. Material presentado en el curso de teorías de desarrollo II. México.
- Siebe, Ch. 1994. "Acumulación y disponibilidad de metales pesados regados con aguas residuales en el DR 03, Tula, Hgo., México". Contaminación Ambiental 10. México.
- Spedding, C.R.W. 1979. "Ecología de los sistemas agrícolas". H. Blume ediciones, Madrid. España.
- Tamaríz, F. José V., Ruiz, C. Jesús A., Castelán, V. Rosalía del C., Cruz, M., Abel y Romero, H. Gaspar. 2008. "Suelos Agrícolas" En: Medio ambiente y agricultura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Toledo, V. M. 1991. "El juego de la supervivencia. Un manual para la investigación etnoecológica en Latinoamérica". CLADES. Chile.
- UCYMAT. 2010. "Uso de maquinaria agrícola". Ministerio del Trabajo. Dirección del Trabajo. Chile.
- Urquiza, R. M. 2011. "Manual de procedimientos para manejo sostenible de tierras". Cuba.
- USDA (Department of Agriculture, US). 1994. "Manual de conservación de suelos". Editorial LIMUSA, S.A. México.

- Vandermeer, 1995 citado en Altieri, M. A. 2001. "Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables en Agroecología: El Camino hacia una Agricultura Sustentable". Sarandón S J (Ed). Ediciones científicas Americanas. Argentina.
- Vázquez, B. A. 1984. "Desarrollo con iniciativas locales en España". Información Comercial Española. España.
- Vega, D. J. 2006. "Construcción de un modelo de sistema de producción agrícola desde la teoría de la autopoiesis". Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Administración. Universidad Nacional del Colombia. Colombia.
- Villarreal, F., Villanova, I., González, P., Lazzarini, A. y Parra, Patricia. "Discusión conceptual acerca de la amortización del suelo". Instituto de Economía y Sociología, INTA. Argentina.
- Zerbino, B. M. 2005. "Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción". Tesis presentada para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Universidad de la Republica, Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay.

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de Productores y cultivos

Nombre productor	Clave	Cultivo actual	Cultivo anterior
Ascensión Mellado Cardozo	AI1P	Alfalfa	Gladiola
Tereso Cano Ascensión	AI2P	Alfalfa	Cebolla
Anatolio Carreón Mora	AI1R	Alfalfa	Frijol
Zoilo Domínguez Hernández	AI2R	Alfalfa	Maíz
Aron Lino Cabrera	GI1P	Gladiola	Maíz
Francisco Domínguez	GI2P	Gladiola	Maíz
Aron Lino Cabrera	GI1R	Gladiola	Maíz
Maricela Cruz	GI2R	Gladiola	Frijol
Ascensión Mellado Cardozo	Ca1P	Calabacita	Gladiola
German Lino Mora	Ca2P	Calabacita	Frijol
Rufino Lino Luna	Ca1R	Calabacita	Maíz
Zoilo Domínguez Hernández	Ca2R	Calabacita	Camote

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Anexo 2. Agroquímicos empleados

Clave	Sup.	Agroquímicos empleados				
		Nombre	Cantidad	Unidad	Cantidad para 1 ha.	Unidad
AI1P	8000 m ²	Foliar	4.0	kg	5.0	kg
		Insecticida	2.0	kg	2.5	kg
		Furadán	20.0	kg	25.0	kg
		Grogreen	6.0	kg	7.5	kg
AI2P	7500 m ²	Urea	150.0	kg	200.0	kg
		Paratión	3.0	l	4.0	l
		Grogreen	6.0	kg	8.0	kg
AI1R	5000 m ²	Urea	100.0	kg	200.0	kg
		Paratión	180.0	ml	0.36	l
AI2R	12500 m ²	Paratión	3.8	l	3.0	l
		Tamarón	3.8	l	3.0	l
		18-46-00	400.0	kg	320.0	kg
		Urea	300.0	kg	240.0	kg
		Grogreen	10.0	kg	8.0	kg
Ca1P	5000 m ²	Amonitro	200.0	kg	400.0	kg
		Sulfato de potasio	200.0	kg	400.0	kg
		Urea	200.0	kg	400.0	kg
		20-10-10	200.0	kg	400.0	kg
		Tamaró 600	2.0	l	4.0	l
		Foliar	4.0	kg	8.0	kg
		Furadán	0.95	l	1.9	l
Ca2P	7500 m ²	20-10-10	400.0	kg	533.3	kg
		18-46-00	200.0	kg	266.7	kg
		Amonitro	200.0	kg	266.7	kg
		Cipermetrina	1.0	l	1.3	l
		Terramicina	1.0	kg	1.3	kg
		Novacron	2.0	l	2.7	l
		Arrivo	2.0	l	2.7	l
		Manzate	2.0	kg	2.7	kg
		Cupravit	3.0	kg	4.0	kg
		Interguzan	1.0	kg	1.3	kg
		Ca1R	12500 m ²	20-10-10	400.0	kg
Urea	200.0			kg	160.0	kg
Interguzan	2.0			kg	1.6	kg

		Cipermetrina	2.0	l	1.6	l
		Foliar	5.0	kg	4.0	kg
		Terramicina	2.0	kg	1.6	kg
Ca2R	7500 m ²	20/10/2010	200.0	kg	266.7	kg
		Sulfato de potasio	100.0	kg	133.3	kg
		Urea	100.0	kg	133.3	kg
		Tamarón 600	1.9	l	2.5	l
		Furadán	0.95	l	1.3	l
G11P	7500 m ²	Sulfato de potasio	100.0	kg	133.3	kg
		20-10-10	400.0	kg	533.3	kg
		Amonitro	200.0	kg	266.7	kg
		Paratión	1.9	l	2.5	l
		Furadán	0.03	l	0.04	l
		Cipermetrina	0.5	l	0.7	l
		Raizal 400	1.0	kg	1.3	kg
		Manzate	2.0	kg	2.7	kg
		Amistar	0.4	kg	0.5	kg
		Novacron	3.0	l	4.0	l
		Karmex	0.06	l	0.08	l
		Hierbamina	0.01	l	0.013	l
G12P	7500 m ²	Amonitro	400.0	kg	533.3	kg
		18-46-00	200.0	kg	266.7	kg
		20-10-10	200.0	kg	266.7	kg
		Furadán	0.475	l	0.6	l
		Paratión	0.95	l	1.3	l
		Novacron	3.0	l	4.0	l
		Monocotrofos	3.0	l	4.0	l
G11R	7500 m ²	Sulfato de potasio	100	kg	133.3	kg
		20-10-10	400	kg	533.3	kg
		Amonitro	200	kg	266.7	kg
		Paratión	1.9	l	2.5	l
		Furadán	0.03	l	0.04	l
		Cipermetrina	0.5	l	0.7	l
		Raizal 400	1	kg	1.3	kg
		Manzate	2	kg	2.7	kg
		Amistar	0.4	kg	0.5	kg
		Novacron	3	l	4.0	l
		Karmex	0.06	l	0.08	l
		Hierbamina	0.01	l	0.013	l

G12R	7500 m ²	Triple 17	200 kg	266.7 kg
		18-46-00	200 kg	266.7 kg
		20-10-10	400 kg	533.3 kg
		Carbendazim	6 kg	8.0 kg
		Captán	6 kg	8.0 kg
		Metil tiofanato	6 kg	8.0 kg
		Monocrotofos	6 l	8.0 l
		Novacron	6 l	8.0 l

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Anexo 3. Tecnología de producción de los cultivos: alfalfa, calabacita y gladiola

CULTIVO:	ALFALFA		VARIEDAD:	Atlixquense
CÓDIGO PREDIO:	AI1P		FECHA DE SIEMBRA:	Enero-2013
CULTIVOS ANTERIORES:	Gladiola, jícama		SUPERFICIE:	8000 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	3 barbechos con tractor	1	
	Rastra	3 rastras con tractor	2	
Siembra	Semilla	37 kg de semilla (\$90/kg)		
	Siembra	En bordo con yunta	2	
	Razón	Para mejora la tierra de esa parcela y porque es fácil de comercializar		
Riegos	Riego 1	A los 5 días	1	
	No. de riegos	Cada 15 días El riego es del pozo no. 3	1	
	Aplicación	Cada riego se hace de 4 horas (\$45/hora)		
Fertilización	Aplicación	No aplica		
Control de plagas	Plaga (mielecilla)	Se ocupa Furadan y Foliar Gro green – Se aplica cada corte También aplican Foley y un Foliar para fumigar una vez que inician las lluvias	2	
Cosecha	Corte 1	A los 3 meses	3	
	No. De Cortes	Cada 6 semanas El total de la producción en el tiempo monitoreado fue de 3 huertas ½, vendiéndola en pacas	3	
Comercialización		Se renta máquina para empacar y vender en la Trinidad. La producción es totalmente para venta en mercado	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$7000 Ingresos:\$17500 Ganancia: \$10500 R B/C 1:2.5		
Otros		El productor lleva anotaciones de sus gastos agrícolas y de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:		ALFALFA	VARIEDAD:	Atlixquense
CÓDIGO PREDIO:		AI2P	FECHA DE SIEMBRA:	Agosto-2012
CULTIVOS ANTERIORES:		Cebolla, jícama	SUPERFICIE:	7500 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	2 barbechos con tractor	1	
	Rastra	2 rastras con tractor	1	
Siembra	Semilla	40 kg de semilla propia		
	Siembra	Surcado con yunta, En plano.	2	
	Razón	Para venta y porque requiere un trabajo fácil.		
Riegos	Riego 1	A los 3-4 días	1	
	No. de riegos	Cada 15 días El riego es del pozo no. 3	1	
	Aplicación	Cada riego se hace de 4 horas (\$45/hora)		
Fertilización	Aplicación	Se aplicaron 10 viajes de "lama", producto obtenido del desazolve de una de las presas Se aplicó Urea	2	
Control de plagas	Plaga (mielecilla)	Se ocupa Paration y Foliar Gro green – Se aplica cada corte	2	
Cosecha	Corte 1	A los 3 meses	3	
	No. De Cortes	Cada 6 semanas El total de la producción en el tiempo monitoreado fue de 4 cortes completos a la parcela	2	
Comercialización		Quien compra lleva su propio equipo y camión para realizar los cortes.	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$5000 Ingresos: \$12000 Ganancia: \$7000 R B/C 1:2.4		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:		ALFALFA	VARIEDAD:	Atlixquense
CÓDIGO PREDIO:		AI1R	FECHA DE SIEMBRA:	Agosto-2011
CULTIVOS ANTERIORES:		Frijol, Maíz, Tomate	SUPERFICIE:	5000 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	2 barbechos con Yunta	1	
	Rastra	2 rastras con Yunta	1	
Siembra	Semilla	8 kg de semilla (\$85/kg)		
	Siembra	Surcado con yunta. Siembra al voleo	1	
	Razón	Para alimento de animales propios y venta de manojos		
Riegos	Riego 1	A los 5 días, y otros 2 riegos cada 5 días.	1	
	No. de riegos	Cada 15 días El riego es de un canal de agua residual	1	
	Aplicación	Los riegos se realizan por tandeos (4 horas)		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó Urea	2	
Control de plagas	Plaga	Se ocupa Paration – Se aplica cada corte	2	
Cosecha	Corte 1	A los 3 meses	2	
	No. De Cortes	Cada 5 semanas El total de la producción en el tiempo monitoreado fue de aproximadamente 70 manojos	2	
Comercialización		Quien compra lleva su propio equipo y camión para realizar los cortes.	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$500 Ingresos: \$1360 Ganancia: \$960 R B/C 1:2.7		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:		ALFALFA	VARIEDAD:	Atlixquense
CÓDIGO PREDIO:		AI2R	FECHA DE SIEMBRA:	Octubre-2012
CULTIVOS ANTERIORES:		Maíz	SUPERFICIE:	10000 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	1 barbechos con Tractor	1	
	Rastra	2 rastras con Tractor	1	
Siembra	Semilla	55 kg de semilla propia		
	Siembra	Surcado con yunta. Siembra al voleo	3	
	Razón	Para alimento de animales propios, para venta y porque requiere trabajo fácil.		
Riegos	Riego 1	A los 5 días	1	
	No. de riegos	Cada 20 días El riego es de un canal de agua residual y del pozo no. 8	2	
	Aplicación	Los riegos se realizan por tandeos (4 horas)		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó Urea y 18-46-0	3	
Control de plagas	Plaga	Se ocupa Foliar Gro green – Se aplica cada corte Para fumigar se aplica Foley y Tamaron en cada corte	3	
Cosecha	Corte 1	A los 3 meses	2	
	No. De Cortes	Cada 4 semanas El total de la producción en el tiempo monitoreado fue de 2 cortes completos de la parcela	2	
Comercialización		Quien compra lleva su propio equipo y camión para realizar los cortes.	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$6000 Ingresos: \$16000 Ganancia: \$10000 R B/C 1:2.7		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:	CALABACITA		VARIEDAD:	Italiana
CÓDIGO PREDIO:	Ca1P		FECHA DE SIEMBRA:	Agosto-2013
CULTIVOS ANTERIORES:	Gladiola, Maíz y Calabacita		SUPERFICIE:	5000 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	2 barbechos con Tractor	2	
	Rastra	2 rastras con Tractor	2	
	Surcado	1 surcado con Yunta	2	
Siembra	Semilla	3 kg de semilla, equivalente aproximadamente a 4 botes (\$280/bote)		
	Siembra Razón	Se siembra con dedo. Se siembra porque es la temporada y porque conocen el cultivo.	4	
Riegos	Riego 1	Cundo se siembra.	1	
	No. de riegos	Cada 8 días. Un total de 8 riegos El riego es del pozo no. 1	1	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 6 horas.		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó al inicio de la siembra lombricomposta. También se aplicó amonitro, urea y 20-10-10	2	
Deshierbes	Aplicación	Se hace de forma manual. Aproximadamente 2 deshierbes por ciclo.	8	
Control de plagas	Plaga	Se ocupa Foliar Para fumigar se aplica Furadan y Tamaron en cada corte	4	
Cosecha	Corte 1	Al mes	5	
	No. De Cortes	Cada tercer día después del 1er. corte Se hicieron 10 cortes, con un total de 100 cajas con un costo aproximado de \$70/caja. La venta de la flor deja ganancias de \$8000 *Los cortes se detuvieron ya que callo una helada en la parcela	5	
Comercialización		El productor considera que es fácil la venta de la calabacita, la persona que la compra va hasta la parcela para recoger las cajas	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$5000 Ingresos:\$15000 Ganancia: \$10000 R B/C 1:3		
Otros		El productor lleva anotaciones de sus gastos agrícolas y de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:		CALABACITA	VARIEDAD:	Italiana
CÓDIGO PREDIO:		Ca2P	FECHA DE SIEMBRA:	Septiembre-2013
CULTIVOS ANTERIORES:		Frijol y Calabacita	SUPERFICIE:	7500 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	2 barbechos con Yunta	3	
	Rastra	2 rastras con Yunta	2	
	Surcado	1 surcado con Yunta	1	
Siembra	Semilla	3 kg de semilla (\$240/kg)		
	Siembra	Se siembra directo	4	
	Razón	Porque es la temporada y en cuanto a costos es lo más disponible		
Riegos	Riego 1	No se aplica riego en la siembra		
	No. de riegos	Cada 5 días. Un total de 9 riegos El riego es del pozo no. 2	2	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 4 horas		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó amonitro, urea y 20-10-10	3	
Deshierbes	Aplicación	Se hace de forma manual. Aprox. 2 deshierbes por ciclo	6	
Control de plagas	Plaga	Se aplica Cipermitrina, Terramicina, Novacrom, Arrivo, Manzate, Cupravit elnterguzan	3	
Cosecha	Corte 1	A los 45 días	5	
	No. De Cortes	Cada 3 días después del 1er corte. Se hicieron 12 cortes, con un total de 100 cajas con un costo aproximado de \$50/caja. La venta de la flor deja ganancias de \$10000	5	
Comercialización		El productor considera que es fácil la venta de la calabacita, la persona que la compra va hasta la parcela para recoger las cajas	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$5000 Ingresos:\$15000 Ganancia: \$10000 R B/C 1:3		
Otros		El productor lleva anotaciones de sus gastos agrícolas y de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:	CALABACITA		VARIEDAD:	Suelta
CÓDIGO PREDIO:	Ca1R		FECHA DE SIEMBRA:	Octubre-2013
CULTIVOS ANTERIORES:	Maíz y Sorgo		SUPERFICIE:	12500 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	2 barbechos con Tractor	1	
	Rastra	2 rastras con Tractor	1	
	Surcado	1 surcado con Yunta	1	
Siembra	Semilla	5 1/2 kg de semilla (\$270/kg)		
	Siembra	Se siembra directo	3	
	Razón	Porque la inversión deja para calabacita y flor		
Riegos	Riego 1	En la siembra como riego de auxilio	1	
	No. de riegos	Cada 6 días. Un total de 12 riegos El riego es del pozo no. 5 y de agua residual	2	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 6 horas		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó Urea y 20-10-10	3	
Deshierbes	Aplicación	Se hace de forma manual	4	
Control de plagas	Plaga	Se aplica un Foliar Se aplica Cipermitrina, Interguzan y Terramicina	5	
Cosecha	Corte 1	A los 35 días	6	
	No. De Cortes	Se hicieron 8 cortes, con un total de 344 cajas con un costo aproximado de \$75/caja. La venta de la flor deja ganancias de \$10000	6	
Comercialización		El productor considera que es fácil la venta de la calabacita, la persona que la compra va hasta la parcela para recoger las cajas	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$15000 Ingresos:\$35800 Ganancia: \$20800 R B/C 1:2.4		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:	CALABACITA		VARIEDAD:	Esmeral
CÓDIGO PREDIO:	Ca2R		FECHA DE SIEMBRA:	Octubre-2013
CULTIVOS ANTERIORES:	Camote y Alfalfa		SUPERFICIE:	75000 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	1 barbechos con Tractor	1	
	Rastra	1 rastra con Tractor	1	
	Surcado	1 surcado con Yunta	2	
Siembra	Semilla	1 1/2 kg de semilla (\$300/kg)		
	Siembra	Se siembra directo	2	
	Razón	Porque el productor conoce el trabajo de este cultivo		
Riegos	Riego 1	En la siembra	1	
	No. de riegos	Cada 6 días. Un total de 7 riegos El riego es del canal de agua residual	1	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 6 horas		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó Urea, Negro y 20-10-10	2	
Deshierbes	Aplicación	Se hace de forma manual	4	
Control de plagas	Plaga	Se aplica Tamaron y Furadan	2	
Cosecha	Corte 1	A los 35 días	5	
	No. De Cortes	Se hicieron 15 cortes, con un total de 400 cajas con un costo aproximado de \$80/caja. La venta de la flor deja ganancias de \$5000	5	
Comercialización		La persona que la compra va hasta la parcela para recoger las cajas	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$6000 Ingresos:\$37000 Ganancia: \$31000 R B/C 1:6.2		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:		GLADIOLA	VARIEDAD:	Blanca
CÓDIGO PREDIO:		G11P	FECHA DE SIEMBRA:	Agosto-2013
CULTIVOS ANTERIORES:		Maíz y Gladiola	SUPERFICIE:	7500 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	4 barbechos con tractor	1	
	Rastra	4 rastras con tractor	1	
	Surcado	Con tractor, espacio de 55 cm entre cada surco, se hace un recorte de surco a los 12 días	1	
Siembra	Bulbos	Se siembran cada 5 cm., son bulbos propios		
	Siembra Razón	Se siembra directo Porque el productor conoce el trabajo de este cultivo, por costumbre y por los precios de venta	7	
Riegos	Riego 1	A los 4 días se realiza el riego por tendida	2	
	No. de riegos	Un total de 5 riegos El riego es del pozo no. 2	2	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 4 horas		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó Sulfato, Negro, 20-10-10 y Amonitro	4	
		También se aplican fert. Foliares. Se aplica Foley y Raizal	2	
Deshierbes	Aplicación	Karmex y yerbamina 3 días después de la siembra	5	
		Siguientes deshierbes manuales	6	
Control de plagas	Plaga	Para el control de plagas se aplica Furadan, Cipermetrina, Manzate, Amistar y Novacrom	4	
Cosecha	Corte 1	A las 4 semanas	4	
	No. De Cortes	Se hicieron 7 cortes, con un total de 380 gruesas con un costo aproximado de \$100/gruesa.	5	
Comercialización		En la camioneta del productor se lleva a Atlixco y a México	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$16000 Ingresos: \$38000 Ganancia: \$22000 R B/C 1:2.4		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:	GLADIOLA		VARIEDAD:	Lila
CÓDIGO PREDIO:	GI2P		FECHA DE SIEMBRA:	Septiembre-2013
CULTIVOS ANTERIORES:	Sorgo, Maíz y Frijol		SUPERFICIE:	7500 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	2 barbechos con tractor	1	
	Rastra	2 rastras con tractor	1	
	Surcado	1 con yunta	1	
Siembra	Bulbos	Se siembran cada 5 cm., son bulbos propios		
	Siembra	Se siembra directo	5	
	Razón	Porque el productor conoce el trabajo de este cultivo y porque es fácil de comerciar		
Riegos	Riego 1	A la semana se realiza el primer riego por tendida	2	
	No. de riegos	Un total de 5 riegos El riego es del pozo no. 2	2	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 4 horas		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó 18-46-0, 20-10-10 y Amonitro	3	
		También se aplican fert. Foliares. Se aplica Foley	2	
Deshierbes	Aplicación	Los deshierbes se hacen manuales	4	
Control de plagas	Plaga	Para el control de plagas se aplica Furdan, Novacrom y Monocrotofo	4	
Cosecha	Corte 1	A las 5 semanas	5	
	No. De Cortes	Se hicieron 8 cortes, con un total de 300 gruesas con un costo aproximado de \$150/gruesa.	5	
Comercialización		En la camioneta del productor se lleva a Atlixco	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$15000 Ingresos:\$45000 Ganancia: \$30000 R B/C 1:3		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:		GLADIOLA	VARIEDAD:	Lila
CÓDIGO PREDIO:		G11R	FECHA DE SIEMBRA:	Agosto-2013
CULTIVOS ANTERIORES:		Maíz y Calabaza	SUPERFICIE:	7500 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	4 barbechos con tractor	1	
	Rastra	4 rastras con tractor	1	
	Surcado	Con tractor, espacio de 55 cm entre cada surco, se hace un recorte de surco a los 12 días	1	
Siembra	Bulbos	Se siembran cada 5 cm., son bulbos propios		
	Siembra Razón	Se siembra directo Porque el productor conoce el trabajo de este cultivo, por costumbre y por los precios de venta	7	
Riegos	Riego 1	A los 4 días se realiza el riego por tendida	2	
	No. de riegos	Un total de 5 riegos El riego es del pozo no. 4 y del agua de canal de riego	2	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 4 horas		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó Sulfato, Negro, 20-10-10 y Amonitro	4	
		También se aplican fert. Foliares. Se aplica Foley y Raizal	2	
Deshierbes	Aplicación	Karmex y yerbamina 3 días después de la siembra	5	
		Siguientes deshierbes manuales	6	
Control de plagas	Plaga	Para el control de plagas se aplica Furadan, Cipermetrina, Manzate, Amistar y Novacrom	4	
Cosecha	Corte 1	A las 4 semanas	4	
	No. De Cortes	Se hicieron 7 cortes, con un total de 400 gruesas con un costo aproximado de \$130/gruesa.	5	
Comercialización		En la camioneta del productor se lleva a Atlixco y a México	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$16000 Ingresos:\$52000 Ganancia: \$36000 R B/C 1:3.3		
Otros		El productor no lleva anotaciones de sus gastos agrícolas ni de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

CULTIVO:	GLADIOLA		VARIEDAD:	Primavera
CÓDIGO PREDIO:	G12R		FECHA DE SIEMBRA:	Octubre-2013
CULTIVOS ANTERIORES:	Frijol y Maíz		SUPERFICIE:	12500 m ²
Actividad		Observaciones	No. de jornales	
Preparación del suelo	Barbecho	2 barbechos con tractor	1	
	Rastra	2 rastras con tractor	2	
	Surcado	1 con yunta	1	
Siembra	Bulbos	Bulbos propios		
	Siembra	Se siembra directo	6	
	Razón	Porque gastos y ganancias que genera el cultivo		
Riegos	Riego 1	A los 6 días se realiza el riego por tendida	2	
	No. de riegos	Un total de 12 riegos El riego es del pozo no. 8 y del agua de canal de riego	2	
	Aplicación	Los riegos se realizan por periodos de 4 horas		
Fertilización	Aplicación	Se aplicó Triple 16, 20-10-10 y 18-46-0	3	
Deshierbes	Aplicación	De forma manual	6	
Control de plagas	Plaga	Para el control de plagas se aplica Carventasin, Captan, Metil tiofanato, Dragocron, Novacrom y Monocotrofo	4	
Cosecha	Corte 1	A las 4 semanas	6	
	No. De Cortes	Se hicieron 12 cortes, con un total de 350 gruesas con un costo aproximado de \$130/gruesa.	6	
Comercialización		En la camioneta del productor se lleva a Atlixco y a México	1	
Relación beneficio/costo		Inversión: \$18000 Ingresos: \$45500 Ganancia: \$27500 R B/C 1:2.5		
Otros		El productor lleva anotaciones de sus gastos agrícolas y de los problemas que acontecen en su siembra		

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Anexo 4. Datos de Macrofauna por parcela

Parcela/ Puntos	Macrofauna					
	1	2	3	4	5	Prom.
AI1P	22	34	29	37	12	26.8
AI2P	18	35	39	25	20	27.4
AI1R	25	28	17	16	11	19.4
AI2R	15	20	22	16	25	19.6
GI1P	4	15	2	3	2	5.2
GI2P	7	6	3	6	5	5.4
GI1R	5	3	7	2	9	5.2
GI2R	8	13	13	9	17	12
Ca1P	5	7	4	7	13	7.2
Ca2P	2	3	3	3	4	3
Ca1R	5	1	5	5	1	3.4
Ca2R	8	4	4	1	3	4
Testigo	7	6	8	8	5	8

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Anexo 5. Datos de Tiempo de infiltración por parcela

Parcela/ Puntos	Tiempo de infiltración (minutos)					Prom.
	1	2	3	4	5	
AI1P	30	32	28	28	30	29.6
AI2P	32	34	30	30	33	31.8
AI1R	25	26	23	25	22	24.2
AI2R	24	22	22	25	27	24
GI1P	36	34	30	34	35	33.8
GI2P	32	35	33	35	35	34
GI1R	23	27	25	20	22	23.4
GI2R	28	24	26	29	24	26.2
Ca1P	25	25	27	24	25	25.2
Ca2P	35	30	33	30	31	31.8
Ca1R	25	20	22	20	20	21.4
Ca2R	25	26	25	28	25	25.8
Testigo	20	19	18	18	20	19

Fuente: Elaborada por la investigadora a partir de datos de campo 2013-2014.

Anexo 6. Propiedades físico-químicas de las parcelas

Identificación	pH	CE	M.O. (%)	Nkjeldhal	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	N-NO ₃	N-NH ₄	Textura Boyoucos			Clasificación	Fe	Cu	Zn	Mn	S-SO ₄ ppm
	1:2 *	1:5 H ₂ O	Walkley -	%	Olsen	←	NH ₄ OAc 1 N	pH 7	→		KCl 2 N	arena	limo	arcilla	Textural	←	DTPA	→			
	H ₂ O	mmhos/cm	Black		ppm		meq/100g		← ppm →	←	(%)	→		ppm							
	dS m ⁻¹						(cmoles+Kg ⁻¹)														
AI1P	7.2	0.03	1.5	0.09	4	0.5	7.6	3.2	0.4	11.8	47	4	67	14	19	Fco.arc.arenoso	10	t	1	3	39
AI2P	7.6	0.10	1.4	0.07	6	0.6	3.5	4.0	0.3	8.5	11	T	60	14	26	Fco.arc.arenoso	11	2	1	9	6
A11R	8.0	0.25	1.5	0.09	4	0.6	3.8	4.5	0.5	9.4	13	1	58	20	22	Fco.arc.arenoso	10	2	2	11	14
A12R	7.5	0.20	1.8	0.10	3	0.4	5.7	6.2	0.4	12.8	7	T	55	16	29	Fco.arc.arenoso	10	2	1	15	6
GI1P	7.9	0.24	1.5	0.07	4	0.4	5.8	3.0	0.2	9.4	19	T	58	16	26	Fco.arc.arenoso	10	1	0	5	12
GI2P	8.3	0.24	1.1	0.06	4	0.2	5.1	2.7	0.3	8.2	8	T	64	14	22	Fco.arc.arenoso	9	2	1	4	22
GI1R	7.8	0.25	1.6	0.09	4	0.8	4.3	4.4	0.3	9.9	25	3	62	16	22	Fco.arc.arenoso	8	2	2	7	21
G12R	7.6	0.15	1.4	0.09	4	0.5	5.2	4.9	0.1	10.7	7	1	59	15	26	Fco.arc.arenoso	13	2	0.5	14	-1
Ca1P	7.7	0.25	1.8	0.09	4	0.4	6.0	5.3	0.5	12.2	21	1	53	21	26	Fco.arc.arenoso	14	3	3	15	14
Ca2P	7.8	0.23	1.0	0.09	4	0.6	3.0	2.2	0.2	6.0	t	T	66	14	20	Fco.arc.arenoso	12	1	0.5	3	12
Ca1R	8.1	0.25	1.1	0.07	4	0.4	4.6	2.8	0.3	8.1	21	6	66	12	22	Fco.arc.arenoso	8	1	2	3	18
Ca2R	7.9	0.25	1.5	0.08	4	0.9	6.7	6.6	0.5	14.8	13	T	47	20	33	Fco. Arcilloso	8	1	1	10	12
testigo	7.7	0.25	1.5	0.06	4	0.6	4.1	2.6	0.2	7.4	17	T	64	12	24	Fco.arc.arenoso	15	1	0	8	18

S-SO₄=m. turbidimétrico

t=trazas; datos en negritas= analisis por duplicado

Fuente: Análisis de laboratorio COLPOS Campus Montecillo, 2014.

Anexo 7. Concentración de metales pesados en las diferentes parcelas de estudio

Metal pesado/ Parcela	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	V
AI1P	0.133	0.24	0.479	0.703	0.201	3.022
AI2P	0.199	nd	0.253	0.571	0.244	2.548
AI1R	0.215	0.457	0.397	0.933	0.541	4.695
AI2R	0.242	0.102	0.141	1.195	0.542	6.007
GI1P	0.274	0.251	0.251	0.204	0.253	1.977
GI2P	0.213	0.387	0.213	0.542	0.003	3.275
GI1R	0.36	nd	0.714	1.526	0.463	3.234
GI2R	0.221	nd	0.081	0.69	0.982	6.214
Ca1P	0.381	0.424	0.442	0.566	0.021	2.708
Ca2P	0.3	0.354	0.18	0.643	0.147	2.731
Ca1R	0.199	0.299	0.117	0.469	0.782	4.351
Ca2R	0.294	nd	0.379	0.859	0.342	4.581
Testigo	0.172	0.408	0.357	0.914	0.643	4.826
NORMA	37	280	23	1600	400	78

Fuente: Análisis de laboratorio COLPOS Campus Montecillo, 2014.

Anexo 8. Análisis Estadísticos

ANOVA edades y cultivo

ANOVA

EDAD

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	102.533	2	51.267	.283	.755
Intra-grupos	7616.667	42	181.349		
Total	7719.200	44			

Subconjuntos homogéneos

EDAD

Tukey B^a

CULTIVO	N	Subconjunto para alfa = .95	
		1	2
GLADIOLA	15	51.67	
CALABACITA	15	51.80	
ALFALFA	15		54.93

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 15.000.

Correlación para edades y número de agroquímicos empleados

Correlaciones

		No	Edad
No	Correlación de Pearson	1	-.321*
	Sig. (bilateral)		.032
	N	45	45
Edad	Correlación de Pearson	-.321*	1
	Sig. (bilateral)	.032	
	N	45	45

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

ANOVA Macrofauna y cultivos

Macrofauna

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	841.380	2	420.690	36.777	.000
Intra-grupos	102.950	9	11.439		
Total	944.330	11			

Subconjuntos homogéneos

Macrofauna

Tukey B^a

Parcela	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
Calabacita	4	4.4000	
Gladiola	4	6.9500	
Alfalfa	4		23.3000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4.000.

ANOVA tiempo de infiltración y cultivo

TInf

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	22.020	2	11.010	.526	.608
Intra-grupos	188.220	9	20.913		
Total	210.240	11			

Prueba T para Cadmio con respecto al Testigo

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Alf	4	.197250	.0463636	.0231818
Cal	4	.293500	.0744513	.0372257
Gla	4	.267000	.0676511	.0338255

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = .172					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Alf	1.089	3	.356	.0252500	-.048525	.099025
Cal	3.264	3	.047	.1215000	.003031	.239969
Gla	2.809	3	.067	.0950000	-.012648	.202648

Prueba T para Cromo con respecto al Testigo

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Alf	4	.199750	.1976974	.0988487
Cal	4	.269250	.1866465	.0933233
Gla	4	.159500	.1923616	.0961808

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = .408					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Alf	-2.107	3	.126	-.2082500	-.522831	.106331
Cal	-1.487	3	.234	-.1387500	-.435746	.158246
Gla	-2.584	3	.082	-.2485000	-.554590	.057590

Prueba T para Mercurio con respecto al Testigo

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Alf	4	.317500	.1502387	.0751193
Cal	4	.279500	.1555774	.0777887
Gla	4	.314750	.2759570	.1379785

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = .357					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Alf	-.526	3	.635	-.0395000	-.278563	.199563
Cal	-.996	3	.393	-.0775000	-.325058	.170058
Gla	-.306	3	.779	-.0422500	-.481359	.396859

Prueba T para Plomo con respecto al Testigo

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Alf	4	.382000	.1850099	.0925050
Cal	4	.323000	.3332777	.1666388
Gla	4	.425250	.4160772	.2080386

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = .643					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Alf	-2.821	3	.067	-.2610000	-.555392	.033392
Cal	-1.920	3	.151	-.3200000	-.850319	.210319
Gla	-1.047	3	.372	-.2177500	-.879822	.444322

Prueba T para Vanadio con respecto al Testigo

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Alf	4	4.068000	1.5871742	.7935871
Cal	4	3.592750	1.0127482	.5063741
Gla	4	3.675000	1.7966827	.8983413

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 4.826					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Alf	-.955	3	.410	-.7580000	-3.283548	1.767548
Cal	-2.435	3	.093	-1.2332500	-2.844758	.378258
Gla	-1.281	3	.290	-1.1510000	-4.009923	1.707923

Correlaciones para metales pesados presentes en suelo y agua de riego

Correlaciones

		CdSuelo	CdAgua
CdSuelo	Correlación de Pearson	1	-.345
	Sig. (bilateral)		.272
	N	12	12
CdAgua	Correlación de Pearson	-.345	1
	Sig. (bilateral)	.272	
	N	12	12

Correlaciones

		CrSuelo	CrAgua
CrSuelo	Correlación de Pearson	1	-.499
	Sig. (bilateral)		.118
	N	11	11
CrAgua	Correlación de Pearson	-.499	1
	Sig. (bilateral)	.118	
	N	11	12

Correlaciones

		HgSuelo	HgAgua
HgSuelo	Correlación de Pearson	1	-.266
	Sig. (bilateral)		.403
	N	12	12
HgAgua	Correlación de Pearson	-.266	1
	Sig. (bilateral)	.403	
	N	12	12

Correlaciones

		NiSuelo	NiAgua
NiSuelo	Correlación de Pearson	1	-.292
	Sig. (bilateral)		.357
	N	12	12
NiAgua	Correlación de Pearson	-.292	1
	Sig. (bilateral)	.357	
	N	12	12

Correlaciones

		PbSuelo	PbAgua
PbSuelo	Correlación de Pearson	1	-.773 **
	Sig. (bilateral)		.003
	N	12	12
PbAgua	Correlación de Pearson	-.773 **	1
	Sig. (bilateral)	.003	
	N	12	12

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Correlaciones

		VSuelo	Vagua
VSuelo	Correlación de Pearson	1	.279
	Sig. (bilateral)		.379
	N	12	12
Vagua	Correlación de Pearson	.279	1
	Sig. (bilateral)	.379	
	N	12	12