



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de Ciencias
Centro de Agroecología

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

MANEJO Y SALUD DE TRES SISTEMAS AGRÍCOLAS DE MAÍZ EN LA
REGIÓN DE LLANOS DE SAN JUAN, PUEBLA

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta

ING. EDILBERTO HERNÁNDEZ GUTIÉRREZ

Director de la Tesis

DR. HÉCTOR BERNAL MENDOZA

Puebla, Pue.

Agosto, 2016

Índice general

I.	Índice de cuadros.....	5
II.	Índice de figuras.....	10
III.	Agradecimientos	12
IV.	Dedicatoria	14
V.	Resumen.....	15
VI.	Abstract.....	16
VII.	Introducción.....	17
VIII.	Planteamiento del problema	20
IX.	Marco teórico y conceptual.....	21
9.1.	Cultivo de maíz.....	21
9.1.1.	Importancia del maíz.....	21
9.1.2.	Manejo del cultivo	22
9.1.3.	Sistemas de producción tradicional.....	23
9.1.4.	Sistema de producción convencional.....	24
9.2.	El agroecosistema	25
9.2.1.	Definición de agroecosistema	25
9.2.2.	Tipos de agroecosistemas	27
9.2.3.	Propiedades y características del agroecosistema	28
9.2.4.	Jerarquía de los agroecosistemas	28
9.2.5.	Estructura y elementos del agroecosistema.....	29
9.2.6.	Funciones y servicios del agroecosistema.....	31
9.3.	Manejo y salud del agroecosistema	32
9.3.1.	Enfoques de estudio del agroecosistema.....	32
9.3.2.	Concepto de 'manejo del agroecosistema'	34
9.3.3.	Antecedentes de evaluación del manejo.....	35
9.3.4.	Concepto de 'salud del agroecosistema'	41
9.3.5.	Antecedentes de evaluación de la salud.....	43
9.4.	Criterios de evaluación	51

9.4.1.	Manejo adecuado e inadecuado	51
9.4.2.	Buena o mala salud del agroecosistema.....	52
X.	Justificación.....	55
XI.	Objetivos	56
11.1.	General	56
11.2.	Particulares	56
XII.	Hipótesis	57
12.1.	General	57
12.2.	Particulares	57
XIII.	Metodología	58
13.1.	Área de estudio	58
13.2.	Diseño de muestreo e instrumento.....	59
13.1.	Submuestra de trabajo	62
13.2.	Muestreo en campo y análisis de muestras.....	64
13.3.	Construcción del Índice de Manejo del Agroecosistema (IMA)	65
13.4.	Descripción de cada subindicador del IMA	68
13.4.1.	Manejo integral de nutrientes (MIN)	68
13.4.2.	Manejo integral del suelo (MIS)	69
13.4.3.	Manejo integral del agua (MIA).....	74
13.4.4.	Manejo integral de plagas y enfermedades (MIPE)	75
13.5.	Construcción del Índice de salud del agroecosistema (ISA)	76
13.6.	Descripción de cada subindicador del ISA.....	78
13.6.1.	Dimensión ambiental.....	78
13.6.2.	Dimensión socioeconómica.....	84
13.7.	Análisis estadístico.....	105
XIV.	Resultados y discusión.....	107
14.1.	Aspectos generales.....	107
14.2.	Evaluación del manejo del agroecosistema.....	108

14.2.1.	Gradiente del manejo del agroecosistema	108
14.2.1.	Manejo del agroecosistema.....	119
14.2.1.	VARIABLES CLAVE DEL MANEJO.....	123
14.3.	Evaluación de la salud del agroecosistema	124
14.3.1.	Propiedades químicas del suelo.....	124
14.3.2.	Propiedades físicas del suelo	130
14.3.3.	Propiedad biológica del suelo.....	133
14.3.4.	Nivel socioeconómico.....	137
14.3.5.	Visión holística	138
14.3.6.	Salud del suelo.....	140
14.3.7.	Solvencia económica	145
14.4.	Relación entre el manejo y la salud del agroecosistema	146
14.5.	En cuanto a la metodología	148
XV.	Conclusiones.....	154
XVI.	Recomendaciones.....	156
XVII.	Literatura citada	157
XVIII.	Anexos.....	169

I. Índice de cuadros

Cuadro 1. Elementos que conforman el agroecosistema a nivel de parcela.....	30
Cuadro 2. Clasificación de los elementos del agroecosistema por subsistema.....	30
Cuadro 3. Resultados de la evaluación del “Saber”	37
Cuadro 4. Resultados de la evaluación del “Hacer”	37
Cuadro 5. Ejemplo de valores cualitativos asignados a intervalo.....	44
Cuadro 6. Ejemplo de resultados de la salud del agroecosistema.....	44
Cuadro 7. Propuesta A de ponderaciones asignadas a variables e indicadores para la salud del agroecosistema.....	47
Cuadro 8. Correlaciones entre variables de salud del agroecosistema.....	47
Cuadro 9. Propuesta B de ponderaciones asignadas a variables e indicadores para la salud del agroecosistema.....	50
Cuadro 10. Marco lógico de construcción de variables e indicadores por variable.....	61
Cuadro 11. Criterios para la submuestra de productores característicos de acuerdo al tipo de agrosistema de interés.....	63 y 64
Cuadro 12. Escala para cada subindicador de los indicadores propuestos para el IMA.....	66 y 67
Cuadro 13. Cultivos con los que hace rotación cada productor.....	73

Cuadro 14. Escala para cada indicador contemplado para el ISA _{Amb}	77
Cuadro 15. Escala ordinal para los factores en el ISA.....	78
Cuadro 16. Calificación asignada a cada tipo de textura encontrada.....	82
Cuadro 17. Producto Bruto (PB) para cada productor característico de acuerdo al agrosistema implementado.....	86
Cuadro 18. Itinerario técnico del agrosistema de AT implementado por el productor 06.	87
Cuadro 19. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 06.....	88
Cuadro 20. Itinerario técnico del agrosistema de AT implementado por el productor 21.	89
Cuadro 21. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 21.....	89 y 90
Cuadro 22. Itinerario técnico del agrosistema de AC implementado por el productor 01.	91
Cuadro 23. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 01.....	92 y 93
Cuadro 24. Itinerario técnico del agrosistema de AC implementado por el productor 04.	94
Cuadro 25. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 04.....	95 y 96

Cuadro 26. Itinerario técnico del agrosistema de ACV implementado por el productor 07	96 y 97
Cuadro 27. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 07.....	97 a 99
Cuadro 28. Itinerario técnico del agrosistema de ACV implementado por el productor 09.	99
Cuadro 29. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 09.....	100 y 101
Cuadro 30. VAB de cada productor característico de acuerdo al agrosistema implementado.....	101
Cuadro 31. Depreciación anual de materiales y equipo por productor en cada tipo de agrosistema.....	102
Cuadro 32. Cálculo del valor agregado neto (VAN) por productor en cada tipo de agrosistema.....	103
Cuadro 33. Cálculo del ingreso neto anual por unidad de producción (INAUP) por productor en cada tipo de agrosistema.....	103
Cuadro 34. Calificaciones de IMA de cada productor.....	109
Cuadro 35. Calificación de los productores característicos en IMA.....	109
Cuadro 36. Ponderaciones en las componentes principales de los indicadores y subindicadores de IMA después del ACP.....	111
Cuadro 37. Concentrado de calificaciones promedio del IMA para cada grupo derivado del análisis de componentes principales.....	113

Cuadro 38. Calificaciones del IMA para el grupo A.....	115
Cuadro 39. Calificaciones del IMA para el grupo B.....	116
Cuadro 40. Calificaciones del IMA para el grupo C.....	117
Cuadro 41. Calificaciones del IMA para el grupo D.....	118
Cuadro 42. Calificaciones del IMA para el grupo E.....	119
Cuadro 43. Calificaciones obtenidas bajo la escala de intervalo en la dimensión ambiental para las propiedades químicas del suelo (ISA _{Amb-Q}) por cada unidad productiva y testigos.....	125
Cuadro 44. Análisis de varianza para las calificaciones obtenidas bajo la escala de intervalo en la dimensión ambiental para las propiedades químicas del suelo (ISA _{Amb-Q}) por manejo.....	125
Cuadro 45. Valor reportado de los análisis de laboratorio para las propiedades químicas del suelo y su respectivo análisis estadístico por agrosistema y ecosistema nativo.....	128
Cuadro 46. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades químicas del suelo después del ACP.....	129
Cuadro 47. Tipo de textura del suelo encontrada en las parcelas y testigos.....	130
Cuadro 48. Valor reportado de los análisis de laboratorio para las propiedades físicas del suelo y su respectivo análisis estadístico por agrosistema y ecosistema nativo.....	131

Cuadro 49. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades físicas del suelo después del ACP.....	132
Cuadro 50. Valor reportado del análisis de laboratorio para las propiedades biológicas del suelo y su respectivo análisis estadístico por agrosistema y sistema nativo.....	134
Cuadro 51. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades biológicas del suelo después del ACP.....	135
Cuadro 52. Ingreso neto anual de la unidad de producción (INAUP) por hectárea para el sistema productivo de maíz respecto a cada unidad productiva por sistema implementado.....	137
Cuadro 53. Valor obtenido bajo la escala ordinal en cada factor por agrosistema....	138
Cuadro 54. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo después del ACP.....	139

II. Índice de figuras

Figura 1. Niveles jerárquicos del presente estudio.....	29
Figura 2. Localización del ejido Paso del Puente de Santa Ana, Puebla, México.....	59
Figura 3. Gráfica de telaraña de las calificaciones del IMA de los productores característicos.....	110
Figura 4. Diagrama de dispersión del análisis de componentes principales de IMA..	112
Figura 5. Dendograma de todas las variables del IMA por productor.....	114
Figura 6. Dendograma sin la variable USO _{EST} de IMA por productor.....	114
Figura 7. Gráfica de telaraña de los grupos derivados del análisis de componentes principales de las variables del IMA.....	121
Figura 8. Dendograma de agrupación de las parcelas y testigos.....	128
Figura 9. Dendograma de agrupación de los agrosistemas y ecosistema nativo.....	127
Figura 10. Diagrama de las propiedades químicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito.....	129
Figura 11. Diagrama de dispersión de las propiedades físicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito.....	132
Figura 12. Diagrama de dispersión de las propiedades biológicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito.....	136

Figura 13. Diagrama de dispersión de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito..... 140

III. Agradecimientos

A mi mamá, Profesora María Magdalena Gutiérrez Ríos por escuchar todos mis líos, opiniones y alegrías, y dar su punto de vista, con lo cual se vio enriquecido no sólo mi trabajo, sino mi admiración y amor por ella. Gracias por traerme a este hermoso mundo y enseñarme a estar preparado ante él, y tantas cosas que no sé cómo decirlas, gracias.

Al Doctor Héctor Bernal Mendoza, quien además de ser un director de tesis, fue un amigo que con su paciencia y ánimo en cada momento de reunión a corta y larga distancia me brindó lo que sabe, gracias por las orientaciones y por estar preocupado por mí.

A la Doctora Yolanda del Carmen Pérez Luna que más que asesorarme a lo largo de esta travesía, ha sido una gran amiga que también con su paciencia, ánimo y sonrisas hace mejorar el trabajo con sus opiniones y críticas.

Al Doctor Dionicio Juárez Ramón por su paciencia a través de asesorías en aspectos físico-químicos y biológicos del suelo, platicar con él es entender más que a esos bichitos “gordos y cachetones”.

A Don Alejandro Feliciano Fernández y su familia, por recibirme en su casa y apoyarme en contactar y conocer ese gran pueblo con grandes personas a través de todas las estaciones que pude disfrutar con ellos.

Así mismo a todos los productores que me permitieron conocer un poco de ellos a través de las entrevistas y la convivencia con ellos.

Al Doctor Daniel Jiménez García y al Doctor José Cinco Patrón por las críticas que ayudaron a mejorar el trabajo.

Al Doctor Ángel Alonso Romero López y al Doctor Octavio Ruíz Rosado que a través de las materias especiales tuve la oportunidad de discutir y retroalimentar los conocimientos adquiridos durante la maestría.

Al Doctor Agustín Aragón García por no sólo preocuparse sino ocuparse de nosotros como estudiantes, estando dispuesto a recibirnos y escucharnos.

A mis compañeros y amigos dentro de la maestría, incluidos tesisistas de licenciatura por acompañarme en el trabajo de campo, son un gran equipo de trabajo, los extrañaré hasta volvernos a ver.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca brindada durante mi estancia dentro de la Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas.

A la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) por el apoyo brindado en la impresión de esta tesis.

IV. Dedicatoria

A Dios por haberme dado la vida, la oportunidad de conocerlo, permitido seguirme preparando y prestado una mamá, una hermanita, un papá no biológico, una mamá Luz y una familia incomparables.

A mi mamá por ser más que eso, mi amiga incondicional, confidente y gurú tanto a larga como corta distancia, siempre te llevo en mi corazón y en mis pensamientos.

A mi papá Marciano Gutiérrez López, te extraño papito, gracias por enseñarme lo bella que es la vida en el campo y el valor del mismo, a sonreír y vivir de forma sencilla.

A mi hermanita Iyari Ivette Hernández Gutiérrez por ser mi amiga en locuras, esa chispa que contagia, la música en la casa.

A mi mamá Luz, mamita preciosa te amo, sin tu sonrisa y alegría no seríamos la familia que somos, gracias por compartir conmigo todos tus suspiros.

V. Resumen

En este estudio se analizó los efectos del manejo del cultivo de maíz de temporal sobre la salud del agroecosistema; para ello se analizaron tres manejos: agricultura tradicional (AT), agricultura de conservación (AC) y agricultura convencional (ACV) en el estado de Puebla. Se desarrolló una propuesta metodológica de evaluación a través del Índice de Manejo del Agroecosistema (IMA) bajo una escala de intervalo (0 al 5) y también el Índice de Salud del Agroecosistema (ISA) al que después se analizó bajo una escala ordinal (1 al 3), se les aplicó un análisis clúster, se analizó la varianza de los datos bajo un diseño bifactorial (manejo, sitio) y análisis de componentes principales (ACP). Para el IMA las variables incluyeron las prácticas encontradas en el área de estudio para el manejo integral de nutrientes, suelo, agua y plagas y enfermedades, mientras que para el ISA las variables de estudio fueron las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, además del ingreso neto anual de la unidad de producción. De acuerdo con el IMA el agroecosistema presenta un manejo de 2.58 ya que los productores están en un rango entre 1.72 y 3.37. El análisis clúster y ACP agrupan a los productores en cinco tipologías: A) AC (IMA=3.32), B) ACV (IMA=2.94), C) AT (IMA=2.59), D) transición a ACV (IMA=2.06) y E) transición a AT (IMA=2). Se encontró que las variables clave que definen a cada tipología es el grado de tecnificación, labores en suelo, uso de tractor y de yunta. La escala de intervalo aplicada a las propiedades químicas del suelo indica que AT posee mejores condiciones para el cultivo de maíz con 3.6 de calificación, seguido de AC con 3.5 y ACV con 3.3. El análisis clúster sólo mostró coincidencia con el orden de las calificaciones para el tipo de manejo. La escala ordinal mostró una visión holística de las condiciones de los recursos de la parcela y posiciona en primer lugar a AC, después ACV y AT para promover la salud del agroecosistema. Se encontró efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo en todas las propiedades químicas y físicas del suelo, mientras que en las biológicas fue necesario analizar los grupos taxonómicos dominantes. Se evidenció la relación entre el manejo y salud del agroecosistema.

Palabra clave: edafobiota, agroecología, agricultura tradicional, agricultura de conservación, agricultura convencional, índice.

VI. Abstract

In this study, the effects of rainfed maize crop management on the agroecosystem health. For this, three management types in the state of Puebla, namely traditional agriculture (TA), conservation agriculture (CA) and conventional agriculture (CVA), were analyzed. A methodological proposal for evaluation was developed through Agroecosystem Management Index (AMI) and the Agroecosystem Health Index (AHI), both on an interval scale (0-5) and after, AHI on an ordinal scale (1-3) to which a cluster analysis was applied. Finally, the variance of the data was analyzed under a bifactor design (management, site) and principal component analysis (PCA). In the case of AMI the variables of study included the practices found in the studied area for integrated nutrient, soil, water and pests and diseases management and for AHI were chemical, physical and biological properties of the soil, as well as annual net income of the production unit. According to AMI the agroecosystem presents a 2.58 management score due to producers are in a range among 1.72 and 3.37. The cluster analysis and PCA grouping producers into five typologies: A) CA (AMI=3.32), B) CVA (AMI=2.94), C) TA (AMI=2.59), D) transition to CVA (AMI=2.06) and E) transition to TA (AMI=2). We found that technology level, soil tilling, tractor and yoke use were the key variables for defining each typology. The interval scale applied to the chemical properties of the soil indicates that TA has better conditions for growing corn, with a score of 3.6, followed by CA with 3.5 and CVA with 3.3. The cluster analysis only showed coincidence with the order of the scores for the type of management. The ordinal scale showed a holistic view of the conditions of the plot's resources and CA came in first place, followed by CVA and TA to promote the health of the agroecosystem. A statistically significant effect of the management was found in all the chemical and physical soil properties, whereas in the biological ones it was necessary to analyze the dominant taxonomic groups. It was proved the relationship between agroecosystem management and health.

Key words: macrofauna soil, agroecology, traditional agriculture, conservation agriculture, conventional agriculture, index.

VII. Introducción

Se entiende por agroecosistema al ecosistema modificado por el ser humano para obtener un bien o servicio, que se puede estudiar y diferenciar de diversas maneras. Dentro de los tipos de agroecosistemas, los sistemas agrícolas (en adelante denominados 'agrosistemas') se diferencian principalmente por el manejo que se les da, por las labores agrícolas realizadas y la tecnología e insumos utilizados (Astier *et al.*, 2008; Martin y Sauerborn, 2013). En México, de las 22,202,784.3 ha dedicadas a la producción agrícola, el maíz es el principal agrosistema ocupando 33.45% de ellas, con una producción nacional de 23,273,256.54 t (SIAP, 2014), además que es uno de los principales componentes de la dieta mexicana. En este texto se presenta un estudio de caso en el que se evaluó el manejo y la salud de tres agrosistemas: la agricultura tradicional (AT), la agricultura de conservación (AC) y la agricultura convencional (ACV). Los cuales convergen en el ejido de Paso del Puente de Santa Ana (en adelante denominado 'el ejido') ubicado en los municipios de San Salvador el Seco y San Juan Atenco, los cuales se encuentran en la "Región de Llanos de San Juan", una región del centro-norte del estado de Puebla tal como la describen Gutiérrez *et al.* (2003), donde las condiciones edafoclimáticas son homogéneas y se practica una agricultura de temporal característica del Altiplano Central de México descrito por Govaerts *et al.* (2005). Se han reportado diversos estudios sobre estos agrosistemas, como los efectos adversos que la ACV genera por el abuso en agroquímicos y tecnología que provoca una degradación y pérdida de los recursos agua, suelo, acervo genético, biodiversidad, entre otros (Juárez *et al.*, 2009; Martin y Sauerborn, 2013; Sarandón *et al.*, 2014). Por otro lado, se observa que a pesar de que la AT generalmente no presenta altos rendimientos, estos son constantes, muestra una mejor eficiencia energética que la ACV, así como menor dependencia de insumos y tecnología externa (Toledo *et al.*, 1989; Toledo, 2002). Igualmente se han reportado ventajas de la AC en el rendimiento de granos básicos como maíz y trigo; favoreciendo la conservación del agua, mejorando la estructura del suelo, e incrementando la biomasa, así como la actividad y diversidad de la microbiota (Bahena *et al.*, 2009; Govaerts *et al.*, 2005; 2007a; 2007b; 2009).

Este estudio se basa en el concepto de agroecosistema como el enfoque para estudiar la unidad edafoclimática, el manejo que el humano le da a sus componentes para generar satisfactores no sólo antropocéntricos sino también para conservarlos y desarrollarlos, inmersos en interacciones endógenas y exógenas de sus dimensiones (Xu y Mage, 2001; Ruíz, 2006a; Vadrevu *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2009; Zhu *et al.*, 2012; Martin y Sauerborn, 2013). Otros conceptos claves son, la Salud del Agroecosistema, que se entiende como la capacidad que éste tiene para cumplir su función de proveedor y satisfactor, a la vez que se mantiene su estructura y resiliencia a pesar de su dinamismo en el tiempo y el espacio (Xu y Mage, 2001; Vadrevu *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2012); y el Manejo del Agroecosistema, concebido como el modo de orientar los componentes deseados o no deseados dentro del mismo a través de ciertas prácticas o actividades que permite la coexistencia de los mismos a fin de lograr su salud. Por tal motivo es posible evaluar la salud del agroecosistema bajo la hipótesis de que el manejo dado al agrosistema se refleja en el estado de sus recursos, considerando al agrosistema como el espacio dentro de los límites de la parcela.

Trabajos previos han evaluado la salud del agroecosistema a nivel regional considerando como unidad de estudio a los municipios (Xu y Mage, 2001) y a nivel paisaje con unidades de estudio de 30x30 m para datos biofísicos y parcelas para datos socioeconómicos (Vadrevu *et al.*, 2008). También existe una propuesta de evaluación a nivel regional con valores límites idóneos en cada indicador (Zhu *et al.*, 2012). Las metodologías desarrolladas por estos autores son parecidas a las metodologías implementadas para la determinación de la sustentabilidad del agroecosistema (Brunett, 2004; Ruíz, 2006b; Astier *et al.*, 2003; 2008; Aguilar *et al.*, 2011; Toro *et al.*, 2011; Castillo *et al.*, 2012; Sarandón *et al.*, 2014), dentro de los cuales ha habido esfuerzos de encontrar la relación que esta tiene con el manejo del mismo como resultado de la racionalidad y conciencia ecológica (Gargoloff *et al.*, 2010; Blandi *et al.*, 2013). Así mismo, la evaluación del manejo del agroecosistema ha sido abordado en los trabajos de sustentabilidad antes mencionados de forma implícita, pero no desarrollaron un índice que lo cuantifique, excepto el trabajo de Abbona *et al.* (2007) con una metodología parecida a la que aquí se expone en combinación con indicadores de sustentabilidad bajo una escala del 0 al 4 y Damián *et al.* (2011) con productores con y sin manejo

agroecológico bajo una escala del 1 al 100. No todas las herramientas utilizadas para la evaluación de la salud o sustentabilidad del agroecosistema son accesibles para el estudio a nivel parcela, ya que algunos utilizan sistemas de información geográfica, modelos o algoritmos para descartar indicadores a los cuales, los productores no tienen acceso. Y en cuanto al manejo, no hay trabajo que clasifique a los productores a partir de los valores en los indicadores, sin caer en la subjetividad.

En vista de lo anterior, la metodología aquí desarrollada tomó de referencia la propuesta hecha por Sarandón *et al.* (2014) enfocándola a la evaluación del manejo y la salud del agroecosistema bajo los tres principios enunciados por Zhu *et al.* (2012) para simplificar la operación: comprensión, cuantificación y comparación, a fin de formular indicadores adecuados, a través de enfoques como la agroecología, la teoría general de sistemas y el territorial. Por lo que el presente trabajo se desarrolló de la siguiente manera: primero se delimita la problemática de investigación. Posteriormente en el capítulo de marco teórico y conceptual se describe el contexto nacional y estatal de la producción y modo de cultivo del maíz, se definen los conceptos principales de manejo y salud del agroecosistema, así como su respectivo antecedente, se aborda la plataforma teórica acerca del agroecosistema a través de la que se definió el nivel de estudio y los criterios de evaluación para considerar saludable o enfermo al agroecosistema y bajo un adecuado o inadecuado manejo. Con base en esto se establecieron los objetivos y se propusieron las hipótesis. En el capítulo de metodología se profundiza la caracterización del área de estudio y los agrosistemas estudiados, se describe la construcción del instrumento para el relevamiento de información que sirvió para la construcción del Índice de Manejo del Agroecosistema para el que se definieron indicadores y subindicadores de acuerdo con el marco propuesto por Zhu *et al.* (2012) a través de una derivación *bottom-up* (Astier *et al.*, 2008), por otra parte, se construyó el Índice de Salud del Agroecosistema bajo un esquema de evaluación fuerte (Toro *et al.*, 2011) con la dimensión ambiental y socioeconómica, para ambos índices se describe cada subindicador y la base con la que se respalda, además de los métodos utilizados para el análisis de la información. Posteriormente se aborda los resultados y análisis de cada uno de ellos a través de la discusión, para terminar con las conclusiones y recomendaciones.

VIII. Planteamiento del problema

El intrusivo manejo del agroecosistema es un aspecto que se ve reflejado en una serie de impactos negativos en el mismo. Así es como a partir de la “revolución verde” se impulsó en México el manejo “convencional” que potencializó la producción agrícola, pero ha repercutido en su propia base material (Bahena *et al.*, 2009; Ceccon, 2008). Este tipo de agricultura se caracteriza por monocultivos estrictos, uso de maquinaria, intensificación de la parcela, ausencia de rotación de cultivos, aplicación de fertilizantes químicos y baja eficiencia energética; presenta altos rendimientos al principio pero es incapaz de mantenerse a lo largo del tiempo, ya que reduce la cobertura del suelo (que aumenta su erosión), acelera el deterioro de la estructura del suelo, reduce la capacidad del suelo para retener nutrientes perdiéndose entre el 30 y 70% de los mismos, provoca salinización del suelo, contaminación de mantos acuíferos, vulnerabilidad genética y se reduce la actividad biológica del mismo (Toledo *et al.*, 1989; Bahena *et al.*, 2009; Juárez *et al.*, 2009; Sarandón *et al.*, 2014). A diferencia del sistema convencional, en un manejo menos tecnificado como la agricultura “tradicional” (o campesina), las repercusiones antes mencionadas se presentan con menos magnitud debido a que mantiene la diversidad (biológica, paisajística, agrícola y cultural), genera numerosos beneficios ambientales (pues se tiende a realizar un manejo responsable del suelo, el agua y la vida silvestre), produce oportunidades económicas más justas, mantiene un manejo personalizado de los alimentos y en muchas regiones es vital para la economía regional, pero adolece de dos problemas principales: altos índices de erosión del suelo y vulnerabilidad por factores climáticos (Toledo *et al.*, 1989; Toledo, 2002). De modo que el inapropiado manejo de los sistemas agrícolas se relaciona con los efectos negativos que se evidencia en su propia salud, por lo que la relación del manejo y la salud del agroecosistema es propuesta por Zhu *et al.* (2012) como respuesta a la imperante necesidad de alcanzar el desarrollo sostenible, sin embargo no hay estudios previos de esta relación sino únicamente de la salud del agroecosistema (Xu y Mage, 2001; Vadrevu *et al.*, 2008); además existe heterogeneidad en los conceptos utilizados, se carece de una evaluación sistemática y de base científica especialmente en el concepto de manejo del agroecosistema. Por lo que, en el presente trabajo se analiza la relación que existe

entre el manejo del agroecosistema y la salud del mismo en la producción de maíz de secano en el ejido de Paso del Puente de Santa Ana. A partir de este interés se plantean las siguientes preguntas: ¿se puede diferenciar el manejo que los productores realizan en su parcela en “puros” y “mixtos”? ¿qué tan sustentable se considera el manejo que le dan a sus parcelas? ¿cuál es el nivel de salud del agroecosistema en cada tipo de manejo? ¿existe o no diferencias significativas entre el manejo convencional, tradicional y de conservación respecto a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como socioeconómicas? ¿cuál de los tres tipos de manejo de maíz promueve más la salud del agroecosistema? Y finalmente ¿existe relación entre el manejo y la salud del agroecosistema?

IX. Marco teórico y conceptual

9.1. Cultivo de maíz

9.1.1. Importancia del maíz

En México el principal producto consumido es el maíz (Améndola *et al.*, 2005). De acuerdo con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reportados para el 2014, el maíz representaba el 63.75% del volumen nacional de cereales con una producción de 23,273,256.54 t con un rendimiento promedio nacional de 3.3 t ha⁻¹, donde la principal variedad cultivada era el maíz blanco (con 89% de la producción). Cuatro entidades se destacaron como las generadoras de la mitad de la riqueza proveniente del maíz en grano en México, que fueron Sinaloa, Jalisco, Michoacán y el Estado de México, los cuales tuvieron una aportación de valor de producción nacional de 15.8%, 14.9%, 8.3% y 8.0%, respectivamente. Dentro del contexto nacional, en ese mismo año Puebla aportó 4.13% de la producción anual nacional, ubicándose en el décimo lugar de producción. En este estado se dedicaron a la agricultura 784,383 ha de las cuales 70.5% se sembraron con maíz y de esa superficie 92.08% se sembraron bajo temporal, sin embargo, presentó menor rendimiento que el nacional al producir 1.82 t ha⁻¹ (SIAP, 2014).

9.1.2. Manejo del cultivo

Durante el cultivo del maíz se aprecia una serie de actividades como producto de la experiencia campesina, descrita en el trabajo de Damián *et al.* (2011). A esta serie de actividades se reconoce como 'manejo agrícola', donde se contempla desde la preparación de la tierra hasta la cosecha. A continuación se presenta las actividades realizadas durante el cultivo de maíz de temporal con sistema de producción tradicional:

1. Preparación del suelo

a. Abonado: es la aplicación de estiércol disponible acumulado durante el año, comprado o intercambiado, proveniente de ganado mayor o menor, el cual se aplica homogéneamente en el terreno de cultivo antes de remover el suelo.

b. Barbecho: se refiere a la manipulación mecánica del suelo con el fin de roturarlo para facilitar la penetración de agua y aire, así como también se propicia la reintegración de toda la materia orgánica incluyendo las arvenses existentes. Facilita la penetración del sistema radicular de la planta.

c. Rastreo: se pulverizan terrones en suelos pesados o arcillosos, con tal de facilitar la penetración de agua y aire, así como la germinación de la semilla, también promueve la penetración del sistema radicular de la planta.

d. Surcado: se trata de abrir la tierra para formar surcos o bordos a cierta profundidad y distancia entre ellos.

2. Siembra (en el caso de los sistemas de temporal, empieza junto con la temporada de lluvia).

a. Siembra: se colocan de forma equidistante, en la parte baja de los surcos, las semillas agrupadas en matas. Por lo general se emplean semillas criollas, seleccionadas por los mismos campesinos.

b. Asociación de cultivos: es la siembra de dos o más cultivos en la misma parcela para aprovechar las sinergias que esta práctica proporciona.

c. Rotación de cultivos: es la sucesión, en la misma parcela, de un cultivo por otro a través del tiempo.

3. Fertilización (necesaria para un buen desarrollo, mediante esta práctica se le aportan nutrientes a la planta de forma directa)

- a. Aplicación de fertilizantes sintéticos: principalmente N-P-K, en la primera labor.
- b. Aplicación de abonos orgánicos: uso del estiércol, en la primera labor.
4. Control de arvenses: control químico mediante el uso de herbicidas para controlar el crecimiento de las arvenses.
5. Control de plagas y enfermedades: mediante la aplicación de insecticidas en cada eventualidad presentada.

Como resultado de la transición del sistema tradicional al sistema convencional a partir de la “revolución verde”, este último presenta actividades similares a las descritas previamente.

9.1.3. Sistemas de producción tradicional

El sistema de producción tradicional (o campesina) de maíz ha sido el precursor de los diferentes tipos de manejo que ha tenido este agroecosistema (Martin y Sauerborn, 2013). El cual se implementa principalmente en zonas con limitantes para la introducción de maquinaria o bien debido a los bajos recursos de los productores en el país (Hernández, 1988; Damián *et al.*, 2013). De acuerdo con Damián *et al.* (2011) este tipo de sistema agrícola se caracteriza por tecnologías campesinas, las cuales “son resultado de sistemas de cognición y prácticas donde los productores han seleccionado las tecnologías más útiles y adaptables, para preservarlas, mejorarlas y transmitir las a las generaciones siguientes por medios orales y experienciales”. Se caracteriza en que la mayor parte de los insumos utilizados por los campesinos son producidos por ellos mismos o bien, por otros campesinos. Lo que le confiere a esta agricultura algo parecido a un ciclo contenido en sí mismo: un espacio de flujos en el que toda la producción campesina cumple una función, ya sea como *outputs* (productos) o como *inputs* (insumos) para futuros procesos productivos. Los *inputs* necesarios son a menudo semillas, que por lo general es una parte conservada de la cosecha del año anterior como material para la siembra del año siguiente. Con objeto de restaurar la fertilidad del suelo, los agricultores no compran fertilizantes, sino que utilizan los excrementos de su ganado y, de manera complementaria, establecen a tal fin sistemas plurianuales de rotación de cultivos (los cuales también sirven para combatir las plagas). Las herramientas de trabajo

son principalmente manuales junto con la yunta. El ganado es alimentado con los recursos agrarios de la explotación y su entorno próximo, también sirve como fuerza de tiro para las labores agrícolas (yunta). En suma, se trata de una agricultura en la que la mano de obra y la tierra son los factores productivos clave, quedando el capital en segundo plano.

9.1.4. Sistema de producción convencional

La agricultura convencional sigue las pautas marcadas por la estrategia tecnológica de la "Revolución Verde". Dicha estrategia supone la implantación de extensos cultivos de una sola especie, utilizando semillas genéticamente mejoradas, fertilizantes químicos, maquinaria agrícola, sistemas de riego artificial y pesticidas químicos para controlar las enfermedades. Las explotaciones dejan de ser unidades de producción múltiple e integrada, en las que una variedad de elementos (humanos, vegetales y animales) cumple simultáneamente una variedad de funciones, para convertirse en unidades de producción especializadas. El ciclo contenido en sí mismo se convierte en una línea recta. Los agricultores compran los más variados *inputs* con objeto de superar los límites productivos de la agricultura tradicional y se concentran en la producción de un reducido número de productos finales. Los aperos y herramientas dejan paso a la maquinaria agraria de origen industrial: segadoras, cosechadoras, tractores y motocultores. Los sistemas orgánicos de fertilización dejan paso a los fertilizantes químicos. Ambos elementos, la maquinaria y los fertilizantes químicos, anulan la función agrícola del ganado, que ahora pasa a ser exclusivamente un convertidor de recursos alimenticios (no necesariamente producidos en la explotación y su entorno, sino con frecuencia piensos artificiales de origen industrial) en productos ganaderos para el consumo humano. Mientras tanto, todo aquel resultado de la actividad agropecuaria que no sea *output*, y que antes habría sido reintegrado al proceso productivo como input para el periodo siguiente, carece de función económica y se considera un residuo del que los agricultores deben deshacerse. El agricultor se convierte en un eslabón intermedio de la cadena productiva que une a los fabricantes industriales de *inputs* agrarios con las empresas de transformación agraria, que a su vez enlazarán con el sector de la

distribución comercial y los consumidores finales. En una agricultura de estas características, el capital se vuelve el factor productivo clave por encima de la mano de obra o la tierra (las cuales se vuelven, cada vez más prescindibles en términos relativos). Por lo tanto, este tipo de sistema agrícola se basa en el empleo de grandes cantidades de energía y capital, baja inversión de trabajo humano y supone la existencia de enormes superficies de terreno. Además de los impactos ecológicos que conlleva, especialmente la contaminación de tierras, aguas, atmósfera y especies por el uso de los pesticidas, este modelo adolece de tres ineficiencias ecológicas bien establecidas: el enorme gasto de energía, el continuo deterioro del suelo y la vulnerabilidad de las especies bajo cultivo (Toledo *et al.*, 1989; Ramos *et al.*, 1996; Gliessman, 2002; Damián *et al.*, 2011).

9.2. El agroecosistema

9.2.1. Definición de agroecosistema

En la literatura se puede encontrar un manejo indistinto del concepto de agroecosistema citándolo dentro del texto como unidad productiva, agrosistema, sistema agrícola o simplemente sistema (Blanco y Leyva, 2007; Sans, 2007; Astier *et al.*, 2008; Martin y Sauerborn, 2013; Sanrandón *et al.*, 2014). No obstante, el agroecosistema es reconocido como el objeto de estudio de la agroecología (Gliessman, 2002; León, 2012; Sarandón *et al.*, 2014), y se distingue fundamentalmente por estar fuertemente influenciado por el hombre (Martin y Sauerborn, 2013; Sanrandón *et al.*, 2014) lo cual lleva a considerarlo un ecosistema antropocéntrico (Zhu *et al.*, 2012). En la literatura se encuentra las siguientes definiciones de agroecosistema:

- “Una unidad funcional, que produce productos agrícolas y provee servicios rurales, los cuales incluyen un conjunto de elementos agrícolamente relacionados e interacciones entre dichos elementos” (Xu y Mage, 2001).
- “La unidad física donde se desarrolla la actividad agrícola, pecuaria, forestal, acuícola o su combinación e inciden los factores económicos, sociales y ecológicos para la obtención de alimentos y otros satisfactores que la sociedad demanda a través del tiempo” (Ruíz Rosado, 2006a).

- “Los agroecosistemas tienen tanto la dimensión biofísica como socioeconómica y representa una interacción dinámica entre personas, formas de vida domesticada, componentes bióticos y abióticos del suelo subyacente, tierras colindantes que sustentan las plantas y animales de origen natural, y tierras colindantes manejadas por personas para otros usos que la producción de alimentos y fibra” (Vadrevu *et al.*, 2008).
- “Es una modificación antropogénica del medio natural para desarrollar objetivos particulares del hombre, de modo que de él obtenga productos de su interés y/o le infunda un espacio de protección y bienestar” (Juárez *et al.*, 2009).
- “Interfaz entre la sociedad humana y el ecosistema natural, son definidos como sistemas ecológicos y socioeconómicos y comunidades de plantas y/o animales que interactúan con su medio físico y químico que han sido modificados por las personas para producir alimentos, fibra y otros productos agrícolas para consumo y procesamiento humano” (Zhu *et al.*, 2012).
- “Son ecosistemas establecidos para la producción de plantas y animales útiles” (Martin y Sauerborn, 2013).

Tomando en cuenta las definiciones anteriores y para los fines del presente estudio, se considera que el agroecosistema es un enfoque para estudiar la unidad edafoclimática y el manejo que el humano le da a sus componentes para generar satisfactores no sólo antropocéntricos sino también para conservarlos y desarrollarlos, inmersos en interacciones endógenas y exógenas de sus dimensiones.

9.2.2. Tipos de agroecosistemas

Trabajos que estudian a los agroecosistemas, mencionan que pueden ser de producción agrícola, forestal y/o agrícola, o bien que pueden tener actividades vinculadas con el manejo de recursos naturales como pesquerías, acuicultura, manejo de flora y fauna silvestre, ecoturismo o conservación de un área natural, o bien, a pesar que sean del mismo tipo puede haber variantes (p. ej., orgánica vs convencional) (Astier *et al.*, 2008). También pueden clasificarse en a) sistemas de cultivo, de acuerdo con: i. Forma de vida del cultivo, ii. Intensidad de la producción, iii. Periodo de cultivo; o b) sistemas ganaderos: i. De producción ganadera con o sin tierras con pastizal, ii. Mixtos (Martin y Sauerborn, 2013).

a) Sistema agrícola (agrosistema)

En el presente estudio se analiza el agroecosistema de producción agrícola de maíz. De acuerdo a Gliessman (2002), los sistemas agrícolas, que en el presente trabajo se denominan 'agrosistemas' "son una interacción compleja entre procesos sociales, externos e internos, y entre procesos biológicos y ambientales. Estos pueden entenderse espacialmente a nivel de terreno agrícola, pero a menudo también incluyen una dimensión temporal". Hace referencia a que son artefactos humanos influenciados no sólo por determinantes dentro de los límites del campo, sino que, además, responden a presiones ambientales, bióticas y a los procesos del cultivo, a la vez que reflejan estrategias humanas de subsistencia y condiciones económicas. Dentro de los aspectos que se reconocen que determinan la estructura particular de un sistema agrícola se mencionan los intereses del productor, la disponibilidad de capital, energía, tecnología, el contexto institucional y de infraestructura, además de la influencia de los factores históricos y geográficos (clima, vegetación natural y suelo), es decir interacciones endógenas y exógenas del sistema agrícola (Gliessman, 2002; Martin y Sauerborn, 2013).

9.2.3. Propiedades y características del agroecosistema

Generalmente se describe a los agroecosistemas como sistemas socioambientales, abiertos y dinámicos (Astier *et al.*, 2008). Algunos de los inconvenientes de los mismos, es que no tienen límites definidos (León, 2012; Martin y Sauerborn, 2013). No obstante, Astier *et al.* (2008) y Sarandón *et al.* (2014) mencionan que es importante definir los “límites” o “recortar”, para identificar el sistema de nuestro interés. Según Xu y Mage (2001) el agroecosistema puede ser caracterizado desde cuatro perspectivas diferentes relacionadas con la estructura, función, organización y dinámica. Martin y Sauerborn (2013) mencionan que, a diferencia de los ecosistemas naturales, los agroecosistemas se forman por la intervención regular del humano que manipula la composición de sus organismos y sus funciones. Se caracterizan por medidas regulares de cultivo principalmente por la siembra, cosecha y cultivo del suelo, pero también por otros tipos de manejo, por ejemplo, la siega, el pastoreo y la quema. Además, se le atribuyen propiedades inherentes como: productividad, estabilidad, sustentabilidad, equidad, autonomía, autodependencia, eficiencia, efectividad, resiliencia, diversidad y complejidad (Xu y Mage, 2001; Ruíz, 2006b; Zhu *et al.*, 2012). Pero además comparado con los ecosistemas, ha sido dotado de características como alta fluidez, vulnerabilidad, diferencia espacio-temporal, poca estabilidad y baja biodiversidad (Zhu *et al.*, 2012). Todas estas propiedades y características están englobadas en una perspectiva holística que incluye dimensiones como la ambiental, socio-económico y socio-político.

9.2.4. Jerarquía de los agroecosistemas

La jerarquía se refiere a los niveles en que se puede trabajar con los agroecosistemas, estos niveles se definen de acuerdo a los objetivos o intereses del estudio. Trabajos previos que han estudiado a los agroecosistemas reconocen las siguientes jerarquías: parcela, granja o finca, localidad, municipio, conjunto de municipios, distrito, microcuenca, subcuenca, cuenca hidrológica, región, estado, país, continente, globo (Xu y Mage, 2001; Ruíz, 2006a; Astier *et al.*, 2008; Toro *et al.*, 2011; Sarandón *et al.*, 2014). Sarandón *et al.* (2014) mencionan que cada nivel jerárquico puede ser subsistema de

otro, por lo que recomiendan contemplar al menos tres niveles jerárquicos: el sistema que nos interesa, el que está por encima o lo contiene y los subsistemas o componentes del mismo. Martin y Sauerborn (2013) proponen componentes del agroecosistema como animal, planta, suelo y clima; y Sarandón *et al.* (2014) los separa en biológicos (según su función en productores, consumidores y detritívoros o descomponedores) y socioculturales (objetivos, racionalidades, conocimientos y cultura de los agricultores). En el presente estudio se considera que el agroecosistema es la interacción de las parcelas con su entorno, por lo que el nivel que está por encima es la Región de Llanos de San Juan (Gutiérrez *et al.* 2003), y sus componentes (subsistemas o elementos) son: animal (ganado, tracción, vida silvestre, insectos), vegetal (plantas silvestres, maíz) y suelo (flujo de nutrientes, edafobiota). En la Figura 1, la forma de los agrosistemas indica que son de diferente tipo de manejo, mientras que el tamaño de los círculos indica la influencia de cada elemento.

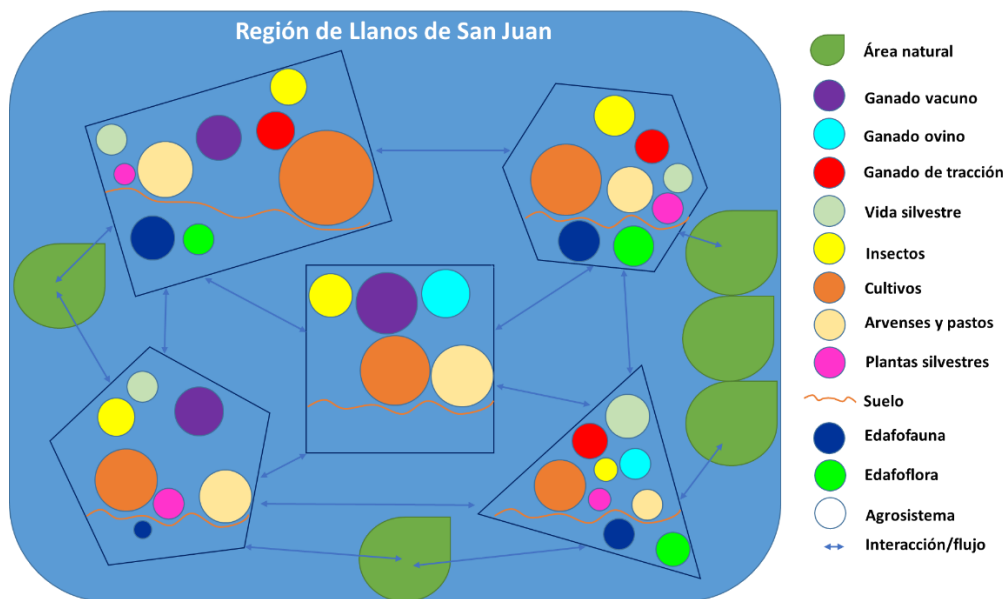


Figura 1. Niveles jerárquicos del presente estudio.

9.2.5. Estructura y elementos del agroecosistema

La estructura se refiere a la composición y distribución de los componentes (elementos) del agroecosistema (Xu y Mage, 2001). De acuerdo con Ruíz (2001) a nivel de cuenca hidrológica los elementos de estructura pueden clasificarse en tres tipos: infraestructura,

paisaje agrícola y paisaje no agrícola (Cuadro 1), o bien se puede clasificar cada elemento a partir de subsistemas (Cuadro 2).

Cuadro 1. Elementos que conforman el agroecosistema a nivel de parcela.

CLASIFICACIÓN DEL ELEMENTO	ELEMENTO
<i>Infraestructura</i>	Casa, caminos, maquinaria, riego.
<i>Paisaje agrícola</i>	Tierras arables, huertos, pastizal, ganado, manejo forestal, estanques y lagos, personas, mascotas.
<i>Paisaje no agrícola</i>	Bosque, pastizal, cantera, vida silvestre, agua dulce, áreas verdes.

Fuente: elaboración propia adaptado de Ruíz (2001)

Cuadro 2. Clasificación de los elementos del agroecosistema por subsistema.

Agroecosistema	Subsistema	Componentes
Interacción de parcelas y su entorno	Vegetal	Cultivos (maíz, cebada, frijol, trigo, haba y ayocote)
		Arvenses y, pastos (cultivados o no)
		Forestal
		Huerto
	Animal	Ganado
		Vida silvestre
		Mascotas
		Insectos
		Edafobiota
		Ganado de tracción
Tecnológico	Tractor	
	Yunta	
	Herramientas manuales	
	Medios de transporte	

Fuente: elaboración propia.

9.2.6. Funciones y servicios del agroecosistema

Xu y Mage (2001) hacen referencia a que 'función' es cómo opera el sistema dada una variedad de componentes y formas estructurales, para generar productos y servicios agrícolas. La interacción de los elementos del agroecosistema con los humanos dan como resultados funciones positivas (trabajo, reservorios, recreación) o negativas (disminución de áreas verdes, contaminación, amenaza a los reservorios) (Ruíz, 2001). Se reconocen otras funciones del agroecosistema que están relacionadas a transformaciones biofísicas y ciclaje, producción económica y organización social. En cuanto a la dimensión biofísica el agroecosistema funciona en gran parte de la misma forma que un ecosistema, donde resaltan dos flujos básicos entre todos los componentes del agroecosistema: el flujo energético y ciclaje biofísico. Además, debido a que es un ecosistema manejado por el hombre se ve afectado por la manipulación económica y social. A nivel regional, la principal función económica es producir productos agrícolas requeridos por nuestra sociedad y esta producción económica a su vez es función del mercado agrícola. En cuanto a los servicios que prestan los agroecosistemas, estos se relacionan con la sociedad a través del paisaje y biodiversidad (Xu y Mage, 2001), pero especialmente en el ámbito agropecuario proveen beneficios en la producción primaria y por lo tanto a la humanidad (Moonen y Bàrberi, 2008), de los cuales a escala predial se reconocen siete que pueden ser clasificados en cuatro grupos (Pérez y Marasas, 2013): i) Flujo de genes: Polinización, ii) Red alimentaria: Control de plagas, enfermedades y malezas; fuente de alimento y hospedaje para especies auxiliares benéficas, iii) Mejoramiento del suelo (relacionados con la edafobiota) (Turbé *et al.*, 2010): control de la erosión del suelo; descomposición de la materia; aporte de materia orgánica y retención de nutrientes, iv) protección de cultivos frente a adversidades climáticas: cortinas rompevientos y control de evaporación.

9.3. Manejo y salud del agroecosistema

9.3.1. Enfoques de estudio del agroecosistema

Para el estudio de los agroecosistemas ha sido útil la Teoría General de Sistemas (Von Bertalanffy, 1950) y recientemente la agroecología (Caporal *et al.*, 2009) y el enfoque territorial de desarrollo (Sepúlveda, 2008), donde consideran al agroecosistema como un sistema complejo. De las primeras definiciones de sistema se encuentra que este es un “arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y actúan como una unidad, una entidad o un todo” (Becht, 1974), Clayton y Radcliffe (1996) lo definen como un “conjunto de componentes que interactúan entre sí de manera recíproca, y de cuya interacción surgen o emergen nuevas propiedades”, más recientemente Sarandón *et al.* (2014) definen al sistema como un “conjunto de componentes interrelacionados de determinada manera para cumplir un fin”; es decir es un sistema integrado. Tomando en cuenta lo anterior, la Teoría General de Sistema propuesta por Von Bertalanffy (1950; 1981; 1991) incluye a todos los aspectos y se concentra en las interacciones entre las diferentes partes del sistema, por lo que de acuerdo con Ruíz (2006a), esta teoría indica que cualquier actividad general no puede ser separada en sus elementos debido a que de este modo se pierde información, y que la síntesis es resultado de una totalidad mayor que la suma de sus partes individuales. Este mismo autor, rescata tres características inherentes de los sistemas que sirven para el estudio de los agroecosistemas: emergencia, control jerárquico y comunicación. Donde la primera significa que, a cualquier nivel dado de complejidad, hay propiedades emergentes que no pueden ser explicadas exclusivamente por referencia a los niveles inferiores. La segunda se refiere a la imposición de nuevas relaciones funcionales para cada nivel basada en la dinámica detallada del nivel inferior. Y la tercera característica se refiere a la transmisión de información que afecta la regulación y retroalimentación. Por lo que las interacciones que existen cada día entre los diferentes niveles jerárquicos los hace más complejos de comprender; de modo que es útil pensar que los sistemas no son estáticos y que existe una dinámica de sistemas que hay que tomar en cuenta para poder determinar su mejoría, así como entenderlos mejor a través de variables clave para modelarlos.

Por su parte el enfoque agroecológico posee las características del anterior enfoque, pero además conjuga saberes históricos de los agricultores con los de otros campos del conocimiento, de modo que se perfila como un paradigma integrador (Caporal *et al.*, 2009). Gliessman (2002) menciona que la agroecología “se refiere al estudio netamente ecológico dentro del campo de cultivo, tales como depredador/presa, o competencia de cultivo/maleza”. Por lo que Tomich *et al.* (2011) mencionan que, así como la ecología estudia procesos como ciclos de nutrientes, interacción de depredador/presa, competencia, comensalía y cambios sucesionales, entre otros, también la agroecología se interesa en los flujos de energía, interacciones de especies y ciclaje de materiales, además de hacer frente a los cambios de prácticas de producción agrícola e insistir en los sistemas agrícolas desde los tomadores de decisiones fuera de la agricultura. De este modo, a pesar que la agroecología a lo largo de su historia ha sido considerada como una ciencia, un movimiento o una práctica (León, 2009; Tomich *et al.*, 2011; Martin y Sauerborn, 2013; Sarandón *et al.*, 2014) en las definiciones más recientes de la misma se encuentra:

- “La aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles” (Gliessman, 2002).
- “Un nuevo campo de conocimientos, un enfoque, una disciplina científica que reúne, sintetiza y aplica conocimientos de la agronomía, la ecología, la sociología, la etnobotánica y otras ciencias afines, con una óptica holística y sistémica y un fuerte componente ético, para generar conocimientos, validar y aplicar estrategias adecuadas para diseñar, manejar y evaluar agroecosistemas sustentables” (Sanrandón, 2002 en Sarandón *et al.*, 2014).
- Es “el estudio que integra la ecología de todo el sistema de alimentación, incluyendo su dimensión ecológica, económica y social” (Francis *et al.*, 2003 en Tomich *et al.*, 2011).
- “La Agroecología se consolida como enfoque científico en la medida en que este campo de conocimientos se nutre de otras disciplinas científicas, así como de saberes, conocimientos y experiencias de los propios agricultores, lo que permite el establecimiento de marcos conceptuales, metodológicos y estratégicos con mayor

capacidad para orientar tanto el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables como los procesos de desarrollo rural sustentable” (Caporal y Costabeber, 2004 en Sanrandón *et al.*, 2014).

- “La ciencia que estudia la estructura y función de los agroecosistemas tanto desde el punto de vista de sus relaciones ecológicas como culturales” (León, 2009).
- “La ciencia de las relaciones de los organismos en un entorno transformado intencionalmente por el hombre para la producción agrícola o ganadera” (Martin y Sauerborn, 2013).

En base a las definiciones previas, aquí se considera que la agroecología es un área de estudio que busca entender (desde diferentes dimensiones y perspectivas) el comportamiento de sistemas atropogénicos a través de sus funciones y servicios que brinda, derivados del manejo de su estructura.

Finalmente, a través del enfoque territorial de desarrollo se reconoce que el agroecosistema posee características de cohesión social y territorial, de tal forma que las zonas rurales y urbanas tienen una coevolución. Esto, a través de la diversificación de actividades no agrícolas de las zonas rurales para diversificar sus fuentes de ingresos como estrategias de sobrevivencia y de paso, transformando el perfil de los territorios rurales. Pero al mismo tiempo conlleva un crecimiento de los centros urbanos que demandan los servicios de los espacios rurales. De modo que esta fluidez dicotómica se refleja en un gradiente donde los extremos son las tipologías “puras” de urbano y rural, pero entre ellas existe una combinación de las mismas con valores intermedios consideradas como tipologías mixtas (Sepúlveda, 2008).

9.3.2. Concepto de ‘manejo del agroecosistema’

En estudios que hacen referencia al manejo del agroecosistema (Astier *et al.*, 2008), poco se ha abordado su conceptualización. No obstante, trabajos previos que utilizan el concepto de ‘manejo’ se refieren a las actividades agrícolas que son producto de la experiencia campesina realizadas en los agrosistemas (Damián *et al.*, 2011), o bien,

como mencionan Zhu *et al.* (2012), el manejo del ecosistema está directamente relacionado con lo que se considera manejo del agroecosistema, debido a que, de acuerdo a estos autores, el agroecosistema es resultado de la ‘alteración’ del ecosistema para obtener productos deseados ya sea a través de actividades de labranza del suelo, aplicación de agroquímicos, cuidado veterinario así como la creación de espacios de protección de ganado ante patógenos y predadores, de modo que definen como ‘manejo’ al “conjunto de estas ‘alteraciones’ provocadas por personas a los ecosistemas”. En el presente trabajo se considera que el manejo es el modo de orientar a través de ciertas prácticas o actividades a un sistema cuyos componentes podrían ser o no deseados, por lo que se permite la coexistencia de los mismos a fin de lograr su salud.

9.3.3. Antecedentes de evaluación del manejo

En trabajos relacionados con la evaluación de la salud del agroecosistema, Vadrevu *et al.* (2008) realizaron entrevistas a través de las que obtuvieron información relacionada con el ‘manejo’ que los agricultores dan a sus parcelas, donde rescataron información de aspectos socioeconómicos. Por otra parte, trabajos relacionados con la evaluación de la sustentabilidad también consideran crucial el tema de ‘manejo’. Tal es el caso de los trabajos que han implementado el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (Maserá *et al.*, 1999; Astier *et al.*, 2008; Toro *et al.*, 2010) con el que se utilizan los atributos del agroecosistema para identificar las dimensiones, criterios e indicadores de interés para el estudio a través de las fortalezas y debilidades identificadas en cada uno, tal es el caso de Astier *et al.* (2003) quienes comparan dos agrosistemas de maíz bajo secano en la subregión Purépecha del lago de Pátzcuaro en Michoacán donde toman como sistema de referencia el sistema tradicional caracterizado por el uso de maíces criollos, tracción animal, estiércol y fertilizante sintético contra el alternativo al cual agregan la diversificación de cultivos; Brunett (2004) que evalúa la producción lechera y de maíz en dos agroecosistemas de Toluca; Aguilar *et al.* (2011) que trabajaron con dos agrosistemas de maíz en tres ejidos de la Región Selva de Chiapas donde compararon el sistema de roza-tumba-quema contra uno que evita la quema y hace sucesión con

nescafé (*Mucuna deeringiana* Bort.), estos trabajos utilizan principalmente una representación relativa basados en valores de antecedentes o bien en valores del sistema alternativo. Otros trabajos utilizan una metodología similar, propuesta por Sarandón (2002) con el cual, a partir de los objetivos propuestos en el trabajo se determinan las dimensiones, ámbitos, categorías, descriptores e indicadores; por ejemplo, Abbona *et al.* (2007) evaluaron el impacto de trasladar prácticas de viejos a nuevos viñedos en Berisso, Argentina, donde estandarizaron los valores de los indicadores a una escala del 0 al 4, siendo 4 la práctica más recomendada y 0 lo contrario; Gargoloff *et al.* (2010) abordan el manejo a través del concepto de racionalidad ecológica (RE) el cual evalúan a través de dos dimensiones de análisis: “Saber” y “Hacer”. Donde el “Saber” evaluó la percepción que los agricultores tienen de los recursos naturales y su capacidad de adaptación al medio ambiente, y el “Hacer” evaluó el posible impacto del manejo que realizan los agricultores sobre la conservación de esos recursos naturales. El estudio lo realizaron con productores de la Región Hortícola de La Plata, Argentina. Analizando tres tipos de agricultores: empresariales o comerciales, familiares o pequeños productores y orgánicos. Estandarizaron los valores de cada indicador en una escala del 0 al 3, en la dimensión “Saber” los productores orgánicos obtuvieron un valor de 2.78, seguidos de los familiares con 2.35 y los comerciales con 1.74, mientras que en la dimensión “Hacer” obtuvieron 2.80, 1.85 y 0.92, respectivamente. Mencionan que la racionalidad ecológica está relacionada con la capacidad para modificar el ambiente que a la vez se ve reflejada en bajos valores de las dimensiones “Saber” y “Hacer” (Cuadro 3 y 4). Todos estos trabajos coinciden en una evaluación fuerte, ya que incluyen indicadores ambientales, sociales y económicos.

Cuadro 3. Resultados de la evaluación del “Saber”.

	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	O ₁	O ₂
Conservación de Recursos Internos*	1,46	1,46	2,15	2,00	2,50	2,40
<i>Suelo</i>	2,25	2,25	2,25	2,50	2,75	2,25
<i>Biodiversidad</i>	0,67	0,67	2,05	1,55	2,27	2,57
Conservación de Recursos Externos	0,50	2,00	2,00	2,00	2,75	3,00
<i>Cuerpos de agua</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	2,50	3,00
<i>Atmósfera</i>	0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Capacidad de adaptación	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Resultado para cada agricultor	1,65	1,82	2,38	2,33	2,75	2,80
Resultado por tipo de agricultor	1,74		2,35		2,78	

Referencia: * Todos los ámbitos de evaluación y categorías de análisis recibieron igual ponderación; C=Agricultores empresariales o comerciales, P=Familiares o pequeños productores y O=Orgánicos.
Fuente: Gargoloff *et al.* (2010)

Cuadro 4. Resultados de la evaluación del “Hacer”.

	C ₁	C ₂	P ₁	P ₂	O ₁	O ₂
Conservación de Recursos Internos*	0,55	0,88	2,38	1,50	2,70	2,70
<i>Suelo</i>	0,90	1,45	2,36	2,11	2,80	2,80
<i>Biodiversidad</i>	0,20	0,30	2,50	1,00	2,60	2,65
Conservación de Recursos Externos	0,50	2,16	1,66	1,66	3,00	3,00
<i>Cuerpos de agua</i>	1,00	1,33	1,33	1,33	3,00	3,00
<i>Atmósfera</i>	0,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Resultado para cada agricultor	0,53	1,30	2,14	1,55	2,80	2,80
Resultado por tipo de agricultor	0,92		1,85		2,80	

Referencia: * Todos los ámbitos de evaluación y categorías de análisis recibieron igual ponderación; C=Agricultores empresariales o comerciales, P=Familiares o pequeños productores y O=Orgánicos.
Fuente: Gargoloff *et al.* (2010)

Otro trabajo que habla sobre el manejo, pero desde un aspecto más social, es el de Blandi *et al.* (2013) quienes mencionan que cada actividad realizada por los agricultores está relacionada con lo que llaman “Conducta Sustentable”, la cual depende de factores tanto internos como externos, así es como la evaluaron a través de las dimensiones: “Factores Internos” y “Factores Externos”, dentro de la primera evaluaron variables propias de los individuos, y en la segunda aquellas variables del entorno del individuo y que influyen en su toma de decisiones. El estudio fue realizado con dos pequeños agricultores del Cinturón Hortícola Platense, Argentina: uno con cultivo al aire libre y el

otro bajo invernadero. La escala que utilizaron fue del 0 al 1, considerando el valor de 0.5 como el umbral mínimo para que un aspecto sea considerado crítico, es decir, que atenta contra la conducta sustentable del agricultor. Al comparar la conducta sustentable de ambos agricultores con gráficas de telaraña, se denota una similitud en los factores internos, pero una diferencia significativa en los factores externos que estarían impidiendo una conducta más sustentable al agricultor que cultiva bajo invernadero.

A diferencia de esos trabajos, Zhu *et al.* (2012) proponen un modelo de manejo del agroecosistema que de acuerdo a los autores propiciaría el mantenimiento de los recursos, la mínima dependencia de insumos artificiales del exterior, el buen ciclaje de los nutrientes dentro del sistema con pocas “fugas”, el control de plagas y enfermedades a través de mecanismos internos de regulación y que sea capaz de recuperarse de disturbios causados por cultivo y cosecha; todo esto para promover la salud del agroecosistema, desde dos niveles, el microscópico y macroscópico:

a) Manejo microscópico

1. Manejo Integral de Nutrientes (MIN). El propósito del MIN es suministrar nutrientes vegetales para forraje óptimo, rendimiento de los cultivos y reducir al mínimo la contaminación difusa de origen (escurrimiento de contaminantes a las aguas superficiales y subterráneas) para mantener y/o mejorar la condición de los suelos, es decir, recuperar el suelo para las plantas. El MIN puede ya sea mejorar el balance de nutrientes o minimizar el impacto negativo del desequilibrio de nutrientes, jugando un papel importante en todos los niveles del agroecosistema. Además, mediante la gestión cuidadosa de los nutrientes y el uso de pesticidas, la calidad del agua puede mantenerse o mejorarse.
2. Manejo Integral del Suelo (MIS). La calidad del suelo es un factor crítico en el manejo de los recursos naturales. Brinda muchas funciones esenciales de los ecosistemas, tales como proporcionar un medio para que las plantas crezcan, absorción, filtrado y lenta liberación del agua, reciclaje de nutrientes y desechos orgánicos, almacenamiento y liberación de gases de efecto invernadero. El MIS

evita o reduce la descarga de contaminantes a las aguas pluviales de la tierra contaminada y los suelos fuertemente ácidos o alcalinos mediante la realización de estudios previos a la construcción, la inspección de las excavaciones con regularidad y la pronta remediación de suelos contaminados.

3. Manejo Integral del Agua (MIA). La falta de recursos hídricos, desastres por agua y la contaminación del agua aumenta con el desarrollo agrícola. La mejor solución a este aumento de la demanda implica el desarrollo de tecnologías de gestión del agua para conservar y utilizar los recursos existentes de agua de manera más eficiente y prevenir el ensuciamiento innecesario de agua. Existen tecnologías de manejo del agua que tienen el potencial de duplicar o incluso cuadruplicar los rendimientos de los cultivos de secano.
4. Manejo Integral de Plagas (MIP). El MIP se refiere a un enfoque integral para el control de plagas que repite la aplicación de tecnología de monitoreo y control de plagas para reducir los impactos económicos de diversos insectos, patógenos, nematodos, malezas y vertebrados que dañan la agricultura, mientras se mantiene un medio ambiente de calidad. Estos métodos se llevan a cabo en tres etapas: prevención, observación e intervención. El MIP es un enfoque ecológico usando prácticas preventivas que no implican plaguicidas.

b) Macroscópico

1. Mecanismos de toma de decisiones. El manejo sostenible de los agroecosistemas está orientado por la política, las fórmulas, las normas, el control del gobierno y las leyes. Es esencial para mejorar el nivel de diseño y construcción de la planificación ecológica-científica-gubernamental. El gobierno debe desempeñar el papel de jueces en las áreas de producción, el desarrollo de normas de manejo de los agroecosistemas y aplicar el sistema de manejo de “ajuste dinámico y la supervivencia del más fuerte”, mientras que en las áreas de asignación y de los consumidores, el gobierno debe actuar como facilitador, guiando al consumidor a establecer la idea de consumo verde y científico. La supervisión del gobierno y de

la legislación pertinente son las garantías de aplicación del manejo de la salud del agroecosistema.

2. Mecanismo legal. Los mecanismos legales son una parte indispensable para lograr la meta del manejo sostenible. Las leyes son para sentar las bases para el establecimiento del proceso de toma de decisiones del manejo de los agroecosistemas, en lugar de la norma absoluta de la implementación.
3. Mecanismo participativo. El manejo del agroecosistema debe fortalecer la colaboración de todas las fuerzas en el desarrollo de decisiones sobre el manejo de los agroecosistemas, para aumentar la conciencia ecológica y ambiental de los accionistas (consumidores y productores), para fortalecer la capacidad de investigación de la tecnología y para hacer una buena función de la supervisión pública, así, a fin de promover la implicación del manejo del agroecosistema.
4. Mecanismo Ecológico. Los objetivos del manejo del agroecosistema son coordinar la productividad estable y la sostenibilidad del medio ambiente ecológico, implementando un estado saludable de ganar-ganar. Basado en el buen entendimiento de procesos ecológicos de la producción agrícola, aprovechando al máximo el mecanismo de estado estacionario natural (homeostasis), las fuerzas sociales integrales humanistas (conocimiento multidisciplinario) y establecer un mecanismo ecológico eficaz. Es decir, basado en la agricultura, la ecología, la informática, la meteorología, la economía y otras disciplinas, es necesario: (1) establecer un conjunto de indicadores de evaluación del sistema ambiental y promover la mejora de un sistema cuantitativo de indicador de agricultura "verde", (2) establecer el sistema de compensación ecológica: un sistema de compensación ecológica es un tipo de sistema que principalmente a través del aumento de cargos (o aumento de indemnización) de comportamientos dañinos (o protección) de los recursos y el ambiente, a fin de mejorar el costo (o ingresos) de los efectos económicos externos y para alcanzar los objetivos de protección del medio ambiente y los recursos, y la salud del ecosistema.

9.3.4. Concepto de 'salud del agroecosistema'

De acuerdo con Xu y Mage (2001) la preocupación sobre el desarrollo de los agroecosistemas provocó un interés por evaluar los impactos de la agricultura, generando conceptos, teorías y modelos para el mismo. Así el concepto más reciente se denomina "salud del agroecosistema", el cual se respalda del concepto de salud para describir y evaluar el estado de las condiciones del agroecosistema. Este se deriva de la investigación de la 'salud de los ecosistemas', el cual es definido a partir de 'signos indicativos' de ecosistemas estresados. Vadrevu *et al.* (2008) mencionan que dicho concepto no equipara literalmente a un ecosistema con un organismo, sino que es una metáfora que se utiliza para describir el funcionamiento de los ecosistemas. Por otra parte, Zhu *et al.* (2012) mencionan que la salud de los ecosistemas deriva de 'salud de la tierra', donde se considera a la tierra como un ecosistema que contempla las relaciones entre organismos y ambiente, también mencionan que la salud del agroecosistema es un modelo para analizar los problemas relacionados a la agricultura.

Comúnmente el concepto de salud se atribuye al área de medicina, como un cuerpo libre de enfermedad. Al respecto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) define la salud como la capacidad para satisfacer las necesidades y realizar aspiraciones, así como para hacer frente a tensiones. En el caso de los agroecosistemas, esta descripción de la salud se centra en los recursos sociales y personales, ambientes de apoyo, así como la capacidad física del mismo. Además, debe contemplar aspectos sociales como las necesidades y deseos de las personas. Así, retomando la descripción de la OMS, recalca que la salud está directamente relacionada con la habilidad o capacidad para funcionar y adaptarse a cambios en el ambiente. En los trabajos que evalúan la salud del agroecosistema (Xu y Mage, 2001; Vadrevu *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2012) se observa que muchos de los conceptos ecológicos han sido directamente empleados para definir el significado de la salud del agroecosistema; sin embargo, hay diferencias, ya que un ecosistema no es manejado por la humanidad, pero los agroecosistemas son manejados principalmente por los humanos. Por lo que hay que tener especial cuidado en estas diferencias, en cuanto al uso de conceptos de ecosistemas aplicados para la salud del agroecosistema, y por ende abordarlo desde un enfoque más amplio contemplando la

dimensión biofísica, económica y humana inherentes al agroecosistema. No obstante, tomando en cuenta los aspectos funcionales y estructurales como características esenciales del agroecosistema, se puede considerar que la salud del agroecosistema a nivel regional puede ser definida como “la capacidad del sistema para realizar sus funciones deseadas por la sociedad y para mantener su estructura necesaria tanto por sus funciones y por la sociedad a lo largo del tiempo” (Xu y Mage, 2001). Vadrevu *et al.* (2008) mencionan que el concepto de salud “describe el estado de un agroecosistema tomando en cuenta los muchos servicios que brinda a la sociedad y la importancia del comportamiento humano en cómo operan los mismos”. Otra definición menos dinámica que proponen dice que la salud del agroecosistema es un “estado donde se mantiene la organización del sistema, puede responder a estrés y disturbios externos, y produce salidas de manera eficiente y eficaz para satisfacer las necesidades humanas”. También señalaban que existe ambigüedad en el término de salud, no obstante, aunque podría haber incertidumbre actualmente respecto a cómo manejar el concepto de salud del agroecosistema, Zhu *et al.* (2012) abordan dicha cuestión de forma más comprensible. Consideran que el lenguaje utilizado es común y por ende fácil de entender, ya que usa palabras familiares como: signos, índice de diagnóstico, disfunción y enfermedad. Explican en primer lugar el concepto de la salud del ecosistema, para abordar el del agroecosistema. Así pues, ellos consideran que la salud del ecosistema es “el estado en la variación del ecosistema con el tiempo y el espacio. Por lo que un ecosistema saludable puede protegerse de la aparición del ‘síndrome de desorden’, y mantiene la vitalidad y diversidad, coordina la estabilidad de su estructura organizativa y mantiene alta productividad. Aun así, bajo estrés externo, es más capaz de restaurarse y promover la optimización y uso eficiente de los recursos.” Posteriormente, aclaran que los agroecosistemas forman parte del gran ecosistema, y que cada uno tiene su propia especialidad, además que la principal diferencia entre ellos es que en los agroecosistemas participan los humanos. Por lo que consideran al agroecosistema como un sistema complejo cuatridimensional (naturaleza-economía-sociedad-a lo largo del tiempo), proponen que la salud del agroecosistema “es una condición ideal en el proceso de variación del agroecosistema con el tiempo y el espacio”. De modo que atribuyen que “un agroecosistema sano puede mantenerse a sí mismo de los efectos secundarios de

la aparición del 'síndrome de desorden', mantiene su vitalidad y diversidad, coordina la estabilidad de su estructura organizativa y mantiene una alta productividad. Además, aún bajo estrés externo no humano, su uso eficiente de los recursos le permite mantener la capacidad de producción y servicio continuo para todo el ecosistema.”

Por todo lo anterior, para fines del presente estudio se considera que la salud del agroecosistema es la capacidad que éste tiene para cumplir su función de proveedor y satisfactor, a la vez que se mantiene su estructura y resiliencia a pesar de su dinamismo en el tiempo y el espacio.

9.3.5. Antecedentes de evaluación de la salud

Estudios previos sobre la evaluación de salud del agroecosistema muestran en su trabajo cuáles fueron los intereses, la unidad de estudio, los indicadores tomados en cuenta, la fuente de información, la metodología desarrollada, la forma de análisis, así como resultados dependiendo del caso. Por ejemplo, Xu y Mage (2001) realizaron un estudio a nivel regional en el sur de Ontario, Canadá. Se basaron en la perspectiva de cambio de uso de tierra agrícola, por lo que plantearon como objetivo: estudiar las tendencias temporales y patrones espaciales en el cambio de la salud del agroecosistema del área de estudio desde 1971 a 1991. Utilizaron tres indicadores de uso de tierra: A) Cambios en la disponibilidad de tierra agrícola (medido como el porcentaje de cambio en el área de tierras de cultivo mejoradas), B) Productividad de uso de tierra (medido como el cambio absoluto en el valor bruto de los productos vendidos por acre de las tierras de cultivo mejoradas), y C) Autodependencia del uso de tierra (medido como el cambio en la proporción de áreas de cultivo roseadas con herbicidas e insecticidas). De acuerdo a los autores, estos indicadores cubren características tanto estructurales, funcionales y organizacionales, respectivamente. Su información deriva del censo agrícola de Canadá, y la unidad espacial de estudio equivale al municipio los cuales agruparon en seis regiones convencionales. Utilizaron rangos de valores de acuerdo al indicador, a los cuales asignan un valor cualitativo bajo tres escalas (leve, moderada, severa o grande) para generalizar los patrones espaciales de cambio en la salud del agroecosistema (Cuadro 5). En su trabajo no describen el método de análisis de los datos, sino que

muestran directamente los resultados obtenidos con los calificativos asignados, asociados a una descripción de comportamiento como: constante, aumento o disminución leve, moderada, severa o grande (Cuadro 6). De modo que hay que tener cuidado con el comportamiento de cada región, ya que puede haber disminución en diferente grado para dos indicadores de la unidad que se esté estudiando.

Cuadro 5. Ejemplo de valores cualitativos asignados a intervalo.

Indicador	Leve	Moderada	Severa o grande
Cambios en la disponibilidad de tierra agrícola	-0% a -5%	-5% a -15%	-15% en adelante
Productividad de uso de tierra	CAN\$ 0-280 acre ⁻¹	CAN\$ 280-400 acre ⁻¹	>CAN\$ 400 acre ⁻¹
Autodependencia del uso de tierra	0-10	10-20	>20

Fuente: elaboración propia con información de Xu y Mage (2001).

Cuadro 6. Ejemplo de resultados de la salud del agroecosistema.

Tema	Cambio en la salud del agroecosistema					
	Región A	Región B	Región C	Región D	Región E	Región F
Salud estructural	Constante	Disminución leve	Disminución severa	Disminución moderada	Disminución moderada	Disminución severa
Salud funcional	Incremento leve	Incremento grande	Incremento grande	Incremento moderado	Incremento leve	Incremento grande
Salud organizacional	Disminución severa	Disminución moderada	Disminución moderada	Disminución leve	Disminución leve	Disminución moderada

Fuente: Xu y Mage (2001).

A través de este estudio los autores enuncian que el propósito de desarrollar un agroecosistema saludable podría contribuir a la estabilidad de la economía provincial y de la comunidad rural. Concuerdan con Smit *et al.* (1998 en Xu y Mage, 2001) en que la salud del agroecosistema es como una aproximación al análisis de los agroecosistemas, y se considera como un intento de evaluación conceptual para integrar una realidad compleja de fenómenos y procesos humanos y biofísicos a una variedad de escalas. Xu y Mage (2001) reconocen que muchos conceptos y aproximaciones se han desarrollado de diferentes disciplinas para entender la salud del agroecosistema, y que la complejidad de la salud del agroecosistema no puede ser comprendida desde sólo una perspectiva,

por lo que necesita una visión holística que contemple características estructurales, funcionales, organizacionales y dinámicas. Los autores advierten que a pesar que un aspecto mejore (por ejemplo, rendimiento), no significa que lo demás también (por ejemplo, calidad del suelo). Así, dejan abierta la necesidad de investigar simultáneamente diferentes aspectos de la salud del agroecosistema a diferentes escalas a fin que la naturaleza de este concepto pueda ser mejor entendida.

Vadrevu *et al.* (2008) realizaron su estudio en Wayne County, Wooster, Ohio, USA, donde abarcan una extensión de aproximadamente once millas cuadradas (nivel paisaje). Mencionan que los estudios realizados hasta entonces habían abarcado desde el nivel finca hasta paisaje y dan a conocer un método para cuantificar la salud del agroecosistema a través de una combinación de información geográficamente referenciada a diferentes escalas espaciales, su unidad de estudio fue una escala pixel de 30x30 m para datos biofísicos y la parcela para datos socioeconómicos. El marco que proponen contempla seis variables clave: biodiversidad, salud del suelo, topografía, economía agrícola, economía de la tierra, y organización social. La información que utilizaron la obtuvieron a través de teledetección, modelos de elevación digital, mapas de suelo, registros del auditor del condado, así como una entrevista estructurada dirigida a los propietarios dentro del área de estudio. La información fue ponderada por un Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) para generar un índice de salud del agroecosistema, de modo que combinaron la información de cada variable a la escala pixel con valores normalizados para obtener el índice final. Se basaron en las propiedades dinámicas propuestas por Conway (1987): productividad, sustentabilidad, estabilidad y equitabilidad. Así, la hipótesis general que propusieron es que dichas propiedades dinámicas, surgen de la combinación de un mínimo conjunto de seis variables claves biofísicas y socioeconómicas, y su impacto en el comportamiento del agroecosistema a través del tiempo. Otra de las hipótesis fue que esperaban un gradiente del valor del índice de mayor a menor en el área de estudio de poniente a oriente, debido a la cultura de los propietarios.

Para el análisis de la información desarrollaron correlaciones para las variables clave, bajo la hipótesis de que las correlaciones entre los elementos de la estructura de un agroecosistema deberían emerger a través del tiempo. Normalizaron la distribución de

los datos y estabilizaron las varianzas; usaron la semivarianza para describir la autocorrelación en datos espaciales a través de la geoestadística enfocados en el rango de dependencia espacial. Utilizaron un método para calcular los coeficientes de correlación y la corrección de los grados de libertad, y la magnitud de autocorrelación espacial fue estimada utilizando el índice de autocorrelación espacial I de Moran. Utilizaron el PAJ para asignar ponderaciones a los indicadores que conforman las variables clave, así como a las propias variables clave para generar el valor del índice de salud del agroecosistema que proponen en una escala de 0 a 1 para cada pixel (Cuadro 7). El valor que obtuvo cada pixel a través del índice, fue mapeado para observarse y analizar los patrones espaciales, donde la calidad del suelo, la organización social y ligeramente la economía de la tierra, mostraron comportamientos a los esperados. Los valores de las correlaciones mostraron que las variables elegidas son suficientemente independientes para evitar preocupaciones de multicolinealidad y representan dimensiones únicas de la salud del agroecosistema (Cuadro 8). Finalmente, el mapa del índice de salud del agroecosistema no muestra el comportamiento esperado, lo cual atribuyen como resultado de que la salud del agroecosistema es una propiedad emergente de sus componentes biofísicos y socioeconómicos que van de la mano con la cultura de los propios agricultores.

Cuadro 7. Propuesta de ponderaciones asignadas a cada variables e indicadores.

VARIABLES CLAVE	1er Nivel de ponderaciones	2º Nivel de ponderaciones
Biodiversidad		0.18650 (18.65)
Calidad del suelo		0.13589 (13.58)
Materia orgánica del suelo (%)	0.188441756 (18.84)	
Capacidad de disponibilidad de agua (%)	0.097602214 (9.76)	
pH	0.076478393 (7.64)	
Factor de erosión	0.132958418 (13.29)	
Dependencia en fertilizantes	0.111206499 (11.12)	
Dependencia en herbicidas	0.086397109 (8.63)	
Clase de capacidad de la tierra	0.306915611 (30.0)	
Topografía		0.06920 (6.92)
Organización social		0.22674 (22.67)
Propiedad agrícola	0.21401 (21.40)	
Años de experiencia agrícola	0.08072 (8.07)	
Educación general	0.02979 (2.97)	
Heredero para la finca	0.171189 (17.11)	
Dependencia en familiares	0.145102 (14.51)	
Dependencia en vecinos	0.08805 (8.80)	
Dependencia en la iglesia	0.07670 (7.67)	
Entendimiento de las prácticas agrícolas	0.11472 (11.47)	
Sistema alimentario/Percepción agrícola	0.07969 (7.96)	
Economía agrícola (valor del uso agrícola actual)		0.18904 (18.90)
Economía de la tierra (valor calculado del mercado)		0.19263 (19.26)

Referencia: entre paréntesis se muestra la ponderación asignada a cada indicador o variable clave. Las ponderaciones dentro de cada nivel de la jerarquía suman la unidad. Fuente: Vadrevu *et al.* (2008).

Cuadro 8. Correlaciones entre variables de salud del agroecosistema.

	Suelo	Topografía	Biodiversidad	Economía agrícola	Economía de la tierra
Topografía	0.133 (p = 0.0311) (N = 59.8)	1			
Biodiversidad	<i>-0.0453</i> (p = 0.06818) (N = 84.4)	-0.2479 (p = 0.0299) (N = 19.46)	1		
Economía agrícola	0.0374 (p = 0.6842) (N = 120)	0.2023 (p = 0.3535) (N = 23)	<i>-0.1181</i> (p = 0.608) (N = 21.22)	1	
Economía de la tierra	0.0185 (p = 0.7104) (N = 404)	0.1178 (p = 0.2955) (N = 80.82)	<i>-0.452</i> (p = 0.6672) (N = 93.0)	0.3658 (p = 0.0461) (N = 30.17)	1
Organización social	0.0475 (p = 0.07769) (N = 38)	0.2009 (p = 0.061) (N = 8.5)	<i>-0.0576</i> (p = 0.0878) (N = 9.56)	0.1041 (p = 0.6967) (N = 16.44)	-0.1981 (p = 0.0499) (N = 49.52)

Referencia: Las correlaciones que coinciden con las predicciones en signo y significancia (o falta de ello) están en negritas, los que no coinciden con las predicciones tanto en signo como significancia están en cursiva. Fuente: Vadrevu *et al.* (2008).

En este estudio los autores señalan que, así como la salud del ecosistema es una metáfora para describir el funcionamiento del ecosistema, lo es para el agroecosistema. Mencionan que los esfuerzos realizados hasta entonces para describir la salud del agroecosistema, no habían sido abordados a través de un marco que cuantificase la salud del agroecosistema con información biofísica y socioeconómica para describir el estado actual. Lo cual es un prerequisite para describir tanto los cambios temporales como espaciales de la salud del agroecosistema a través del tiempo y el paisaje. Hablan de variables dinámicas que describen el comportamiento del agroecosistema, tales como la productividad para la que son necesarios de 5-20 años para cuantificarla debido a los cambios económicos y climáticos, o la sustentabilidad (recuperación de disturbios) que requiere de 5-10 años para cuantificarla. Así, consideran que además de los cuatro criterios a través de los que se podría evaluar la salud del agroecosistema (estructural, funcional, organizacional y dinámico) también se podrían incluir procesos ecológicos (retroalimentación, ciclo del agua, ciclo mineral y dinámica de comunidades). Por lo que cambios en el sistema en cualquier punto dado del tiempo son una función de su estado en ese tiempo (en su caso combinación de variables biofísicas y socioeconómicas), de modo que dichos cambios a través del tiempo se reflejan en el comportamiento del sistema, el cual puede ser descrito en términos de las propiedades del agroecosistema. Es por eso que a través del marco que proponen de seis variables clave (excepto la biodiversidad), simplifican la cuantificación de los capitales natural, humano, financiero, físico y social, las cuales son las fuerzas conductoras que dan como resultado la función del agroecosistema. Así mismo, atribuyen que la falta de correlaciones, por ejemplo, en la topografía con la economía agrícola y la organización social, se debe a la escala espacial para la que fue calculada o la poca variabilidad en la pendiente del terreno del área de estudio.

Finalmente, en el trabajo de Zhu *et al.* (2012) consideran que la salud del agroecosistema es un área de investigación que provee bases científicas y es una herramienta de diagnóstico para el monitoreo y manejo del agroecosistema, también que es un estado idealizado del agroecosistema en su proceso de variación con el tiempo y el espacio. Sin embargo, a pesar que no desarrollan un ejemplo de evaluación de la salud del agroecosistema, proponen un marco de indicadores (Cuadro 7) obtenidos a través del

PAJ, donde para cada subsistema tomaron en cuenta cuatro propiedades dinámicas: vigor, estructura de la organización, resiliencia (mantenimiento) y equidad. Comenzaron con 60 indicadores seleccionados por especialistas, pero después de dos rondas de implementar la técnica Delphi quedaron 36 indicadores, los cuales fueron separados de acuerdo a cada nivel: objetivo, subsistema, ítem, factores (o elementos) de evaluación de cada ítem (clasificados en las cuatro propiedades dinámicas) y por último el nivel de índice donde se detalla cada indicador. Por último, con los indicadores que proponen plantean la generación de un índice para la salud del agroecosistema, el cual a través del PAJ estará sujeto a las consideraciones del grupo de investigadores quienes deben tomar en cuenta las condiciones locales y circunstancias actuales del área de estudio. Dicho índice, mencionan, puede usarse tanto para caracterizar diferentes estados de la salud del agroecosistema regional como para analizar la tendencia de la salud del agroecosistema en la misma área.

En la revisión bibliográfica que realizaron destacan que el agroecosistema es considerado como una unidad de producción, sin embargo, recalcan que el agroecosistema es más que eso, considerándola como la principal unidad ecológica con flujos y reciclamiento de materiales y energía, el cual es uno de los componentes del ecosistema más grande, que tiene tanto universalidad como individualidad entre los ecosistemas. Mencionan que la salud del ecosistema tiene limitaciones de escala y crecimiento de espacio y se debe ajustar las medidas a las condiciones locales, lo cual también es aplicable a los agroecosistemas.

Cuadro 9. Propuesta B de ponderaciones asignadas a variables e indicadores para la salud del agroecosistema.

Objetivo	Subsistemas	Elementos de evaluación	Indicadores detallados/ valor estándar
La completa salud del agroecosistema	Ecosistema	Vigor	Eficiencia en el uso de la luz del cultivo ($\geq 1\%$)*
		Estructura de la organización	Edad porcentual de las áreas de cultivo con riego eficaz ($\geq 90\%$) Sustentabilidad de la fertilidad del suelo (clase 2) Porcentaje del estado a la altura (≥ 90)
		Resiliencia (mantenimiento)	Intensidad del uso de pesticidas ($\leq 5\text{Kg/h m}^2$) Biodiversidad del cultivo en sobrecosecha (≥ 1.585) Tasas de tratamiento de la erosión del suelo ($\geq 60\%$)
		Equidad	Proporción de áreas salinas y alcalinas ($\leq 5\%$) Resiliencia del agroecosistema a cualquier desastre (tasa de pérdida de cultivo $\leq 10\%$) Uso de pesticidas químicos y fertilizantes por unidad de área de ($\leq 250\text{Kg/h m}^2$) Área de pradera per cápita ($\geq 0.69 \text{ h m}^2/\text{persona}$)
	Sistema social	Vigor	Grado de satisfacción sobre la validez política ($\geq 90\%$) Tasa de contribución de la ciencia y la tecnología en agricultura ($\geq 39\%$) Tasa natural del crecimiento poblacional ($\geq 6\%$)
		Estructura de la organización	Satisfacción con la seguridad social de los aldeanos ($\geq 85\%$)
		Resiliencia (mantenimiento)	Tasa de incremento del índice de precio al consumidor ($\leq 5\%$) Relación hombre-a-mujer ($\leq 106/100$) Calidad de la fuerza de trabajo (tasa de graduados de la preparatoria o superior) ($\geq 15\%$)
	Sistema económico	Equidad	Tasa de personal científico y técnico ($\geq 4\%$) Seguridad alimentaria (tasa del incremento en número de certificación de productos agrícolas de origen amigable) (15%) Cobertura de seguro de vejez ($\geq 60\%$) Coeficiente de Gini (≤ 0.3) Coeficiente de Engel ($\geq 0.3, \leq 0.4$)
		Vigor	Tasa de crecimiento de salidas agrícolas ($\geq 10\%$)
		Estructura de la organización	Grado del uso razonable de los recursos naturales ($\geq 10\%$) Porcentaje de incremento del rendimiento del grano (≥ 0) Relación salidas/entradas del agroecosistema ($\leq 2.8\%, \geq 1.8\%$)
		Resiliencia (mantenimiento)	Porcentaje de la superficie de cultivo comercial ($\leq 30\%$) Índice de la eficiencia del agua de riego ($\geq 0.55 \text{ m}^3/\text{millones de Yuanes}$) Área para asegurar rendimientos estables a pesar de sequía o exceso de lluvia ($\geq 50\%$)
		Equidad	Tasa de autosuficiencia energética ($\geq 85\%$) Índice de recorte ($\geq 150\%$) Ingresos netos por aldeano ($\geq 2500 \text{ Yuanes/per cápita}$) Ingreso disponible per cápita ($\geq 24000 \text{ Yuanes/per cápita}$) Grano per cápita ($\geq 500\text{Kg}$)

* Valor de alcance del índice mostrado en paréntesis. Fuente: Zhu *et al.* (2012).

9.4. Criterios de evaluación

9.4.1. Manejo adecuado e inadecuado

El manejo de un agroecosistema implica una serie de actividades de las cuales depende su salud y sostenibilidad en el tiempo, de forma que algunas de ellas promueven un mejor desarrollo del mismo mientras que otras afectan su continuidad en el tiempo. Por lo tanto, con base en el manejo microscópico propuesto por Zhu *et al.* (2012) se espera que las prácticas generen las siguientes características de un manejo adecuado o inadecuado en el agroecosistema:

a) Características de un agroecosistema con manejo adecuado

- MIN: Gestiona la cantidad, origen, ubicación, forma y momento de aplicación oportuna de fuentes de nutrientes como el estiércol, compost, abono comercial u otras formas de nutrientes, entre otras prácticas como la selección genética.
- MIS: Minimiza o reduce el laboreo, mantiene el mulch sobre la tierra para minimizar las fuerzas de compactación de la lluvia o riego por aspersión, añade materia orgánica a los suelos arcillosos, incrementa las contribuciones de nitrógeno de las leguminosas, utiliza abonos o cultivos de cobertura.
- MIA: Implementa tecnologías para la recolección de agua y riego por goteo, acolchado y cortinas cortavientos para el control de la sombra.
- MIP: Monitorea y controla las poblaciones de diversos insectos, patógenos, nematodos, arvenses y vertebrados, para mantener a las poblaciones de plagas potenciales a un nivel aceptable, además de reducir significativamente o eliminar el uso de pesticidas. Además, hace rotación de cultivos, explora enemigos de las plagas, usa herbicidas menos tóxicos, labra antes de sembrar, implementa cultivo entre hileras, escarda y la siembra de plantas nativas que atraen a los insectos benéficos.

b) Características de un agroecosistema con manejo adecuado

Por el contrario, un manejo inadecuado del agroecosistema está relacionado con:

- MIN: la cantidad de nutrientes es deficiente o excesiva a la necesaria de acuerdo al cultivo, aplican fertilizantes que no son locales, la aplicación de los fertilizantes no es precisa, tampoco existe selección de semilla para el mejoramiento genético.
- MIS: realiza muchas labores, extrae todo el rastrojo por lo que deja desnudo al suelo, no agrega ninguna forma de materia orgánica, no utilizan leguminosas para la fijación de nitrógeno, tampoco utiliza abonos o cultivos de cobertura.
- MIA: no utiliza tecnologías que ayuden a recolectar y/o ahorrar agua, no implementan el acolchado y cortinas rompevientos.
- MIP: aplican pesticidas cuando la población de la plaga está descontrolada y tienden a aplicar pesticidas más tóxicos y cada vez en mayor cantidad.

9.4.2. Buena o mala salud del agroecosistema

En cuanto a la salud del agroecosistema, con base al concepto aquí propuesto, es resultado de la interacción de sus componentes a través del manejo que se le da. De acuerdo con Xu y Mage (2001) algunas de las características de un agroecosistema saludable o enfermo son:

a) Características de un agroecosistema saludable

- Libre de estrés, por lo cual debe ser activo y mantener su organización (estabilidad) y autonomía con el tiempo (Costanza, 1992 en Xu y Mage, 2001).
- Alta disponibilidad de sus recursos, lo que podría ampliar su oferta de productos agrícolas, o bien, enfrentarse ante cualquier cambio ambiental.
- Alta accesibilidad a sus recursos, por lo que pueden ser fácilmente utilizados, de modo que satisface necesidades sociales y económicas, así como mantenerse a lo largo del tiempo.

- Diversidad alta, lo que le ayuda a evitar pérdidas económicas y enfrentarse ante fluctuaciones de precios del mercado y satisfacer necesidades sociales de demanda de alimento.
- Buena equitabilidad o equidad, por lo que sus productos son repartidos de igual manera entre todos sus beneficiarios.
- Productividad alta, por lo que satisface la demanda de productos agrícolas.
- Eficiencia positiva, lo que podría significar que no hay desperdicio en el uso de sus recursos.
- Integridad alta a través de la continua disipación de energía que mantiene su estructura (autoorganización).
- Autorregulación a través de mecanismos que balancean las relaciones entre los atributos del sistema y el ambiente.
- Autodependencia, por lo que incluso no depende de subsidios económicos.
- Resiliencia, ante estrés socio-económico y natural, manteniendo su productividad, estructura y patrones de comportamiento ante disturbios poniendo en marcha mecanismos y estrategias de mantenimiento. Por lo que se puede decir que tiene buena capacidad de respuesta.

b) Características de un agroecosistema enfermo

- Baja disponibilidad de sus recursos, por lo que es vulnerable ante cambios ambientales.
- Baja accesibilidad a sus recursos, lo que provoca una fluctuación en su funcionamiento normal por lo que necesitaría ser apoyado por recursos alternativos.
- Baja diversidad, lo que lo hace vulnerable ante fluctuaciones de precios en el mercado, así como a no poder satisfacer la demanda de comida.
- Equitabilidad o equidad mala, de modo que unos pocos beneficiarios pueden tener más de lo que necesitan y otros estar en extrema pobreza.
- Productividad baja, lo cual incapacita al agroecosistema de satisfacer las demandas de productos agrícolas.

- Eficiencia negativa, de modo que podría indicar la generación de residuos o bien desperdicio de los recursos.
- Autoorganización nula, por consiguiente, fuera de equilibrio, lo que provoca alto consumo de flujos de energía y materia del exterior.
- Integridad y autodependencia nula, por lo que su estructura y funcionamiento está determinado por atributos externos al agroecosistema.
- Resiliencia nula, por lo que no puede mantener sus condiciones de equilibrio de estado, de modo que después de una perturbación demora en alcanzar el equilibrio con la menos fluctuación posible, es decir, sufre de retroceso.

X. Justificación

En México han convivido dos grandes tipos de agricultura, la tecnificada (convencional) que predomina en el norte del país y en algunas zonas del centro, contra la no tecnificada (tradicional) que predomina en el sur del territorio mexicano, así como un sincretismo de ambos a lo largo del territorio nacional (Damián *et al.*, 2013). Actualmente, la agricultura se encuentra en una grave crisis debido principalmente al problema energético que se enfrenta (Rubio, 2008) y la necesidad de aplicar insumos como fertilizantes químicos (entre otros) que requiere de una fuerte inversión económica que no todos los productores pueden absorber (Rosset, 1997; Ceccon, 2008). Está bien documentado el efecto que tienen la aplicación de insumos provenientes de la industria química sobre el suelo y en general sobre el ambiente y salud de los productores (Altieri, 1999; 2000; Sans, 2007; Juárez *et al.*, 2011; Sarandón *et al.*, 2014). En cambio, en agrosistemas donde se considera importante el cuidado de los recursos naturales y se propicia un equilibrio entre la flora, fauna y actividades productivas se ha visto que a pesar de que no tienen una alta productividad, la mantienen, poseen alta diversidad por medio de policultivos, generan sinergias que permiten a los agrosistemas patrocinar su propia fertilidad, control de plagas y productividad, así como la inocuidad hacia los agricultores (Altieri, 1999; 2000; Sans, 2007). Sin embargo, es necesario realizar un análisis sistemático del efecto que tiene el manejo de agrosistemas contrastantes y simultáneamente analizar sus recursos respecto al ecosistema nativo del área de estudio para determinar el efecto de la eficiencia en el uso de los recursos para el cultivo de maíz (principal producto consumido en México) a fin de que los productores tomen la decisión respecto al manejo que han de dar a su cultivo considerando alternativas sustentables de producción, que promuevan el mantenimiento de los recursos naturales y por lo tanto la salud del agroecosistema, al mismo tiempo que su economía y productividad mejore, dependan menos del exterior y que en consecuencia se genere un beneficio al medio ambiente. Esto a través de la concienciación de los productores de la relación que existe entre el manejo del agroecosistema y la salud del mismo, como resultado de este estudio.

XI. Objetivos

11.1. General

Evaluar la relación entre el manejo y la salud del agroecosistema para tres sistemas agrícolas de maíz en la región de Llanos de San Juan, Puebla.

11.2. Particulares

1. Evaluar el uso de medios de producción y trabajo, y la salud de cada agrosistema, diferenciando y ubicando los procesos claves.
2. Analizar y comparar el comportamiento de cada agrosistema, determinando el manejo óptimo de los recursos para elaborar una propuesta alternativa de manejo que permita transitar hacia la sustentabilidad.

XII. Hipótesis

12.1. General

La salud del agroecosistema está relacionada con el manejo de los recursos del mismo, de modo que si existe un óptimo manejo de los recursos el agroecosistema está saludable y por lo tanto tiene una mínima dependencia de insumos externos.

12.2. Particulares

- a) Sobre el manejo: el agrosistema de maíz presenta un óptimo manejo (IMA=5) a través de prácticas que promueven el reciclaje de nutrientes locales (MIN=5), minimizan el movimiento de la tierra y lo protegen de la erosión (MIS=5), mantienen la humedad para evitar el estrés hídrico (MIA=5) y se interesa en el entendimiento del control de poblaciones que podrían volverse plagas utilizando prácticas agroecológicas (MIPE=5), por lo que se espera que los agrosistemas estudiados promuevan lo anterior en el siguiente orden: AT, AC y ACV.

- b) Sobre la salud: el agroecosistema está saludable si los agrosistemas que contiene cumplen con la función de producir maíz en condiciones químicas idóneas, mientras mantienen un estado de las propiedades físicas y biológicas del suelo similar al ecosistema nativo para brindarle estabilidad, pero además proveen solvencia económica, de modo que se espera que los agrosistemas estudiados promuevan lo anterior en el siguiente orden: AT, AC y ACV.

XIII. Metodología

13.1. Área de estudio

Para este estudio de caso se eligió como agroecosistema al ejido “Paso del Puente de Santa Ana” ubicado en los municipios de San Salvador el Seco y San Juan Atenco, los cuales se encuentran en la “Región de Llanos de San Juan”, una región del centro-norte del estado de Puebla tal como la describen Gutiérrez *et al.* (2003), donde las condiciones edafoclimáticas son homogéneas y se practica una agricultura de temporal característica del Altiplano Central de México descrito por Govaerts *et al.* (2005) (Figura 2). En dicho ejido convergen los tres tipos de manejo de interés para el estudio, donde hace más de 30 años predominaba la agricultura tradicional (AT), pero programas gubernamentales propiciaron paulatinamente el tránsito hacia el manejo convencional (ACV) y la agricultura de conservación (AC) se introdujo a través del programa *Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional* (MasAgro), aunque en forma apenas incipiente. En este ejido predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (300-900 mm) (INEGI, 2010), seguido de heladas tempranas y tardías. Las lluvias llegan a ser muy intensas y regularmente se presentan por la tarde-noche, además, en época de seca son frecuentes las tolvaneras que contienen gran cantidad de polvo. Regularmente el suelo está desnudo, debido a que el rastrojo es aprovechado para la alimentación de animales de carga, ganado ovino y/o vacuno. La estación climatológica más cercana al ejido, es la de San Salvador El Seco, la cual reporta una temperatura media anual de 15.3 °C (calculado entre 1961-2003), una precipitación pluvial anual de 904.8 mm, de los cuales 850 mm caen entre abril y octubre. Las lluvias suelen ser torrenciales seguidas de una marcada temporada de seca, sin embargo, la evaporación excede la lluvia acumulada a lo largo del año (la cantidad total de evaporación anual es de 1265.4 mm) (INIFAP, 2007a). Además, las principales limitaciones son sequías periódicas, excesos de agua periódicas y la erosión tanto por viento como por agua.

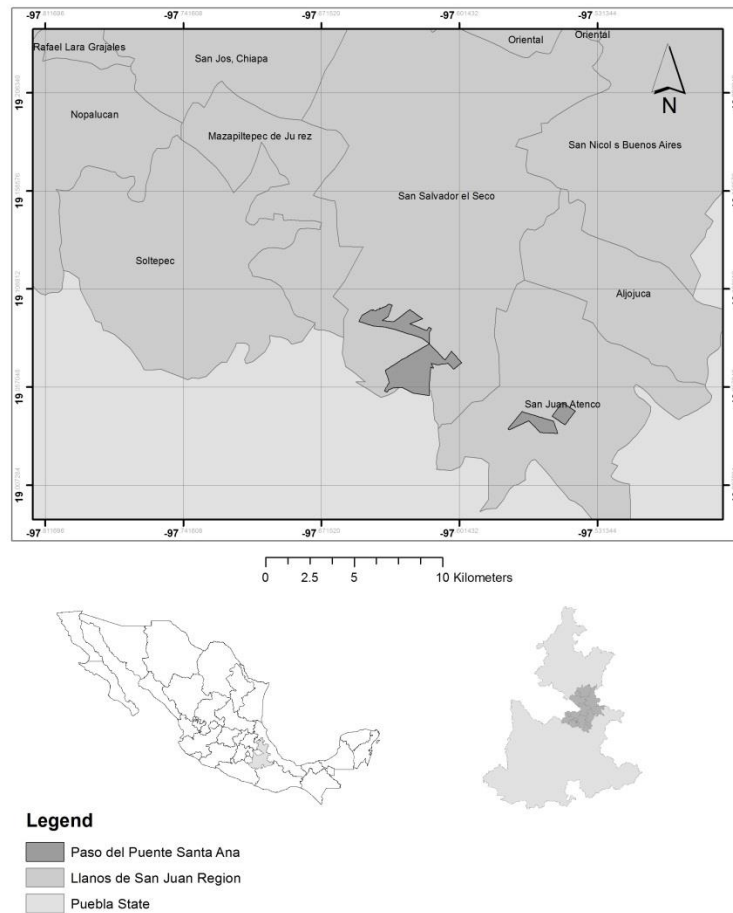


Figura 2. Localización del ejido Paso del Puente de Santa Ana, Puebla, México.

13.2. Diseño de muestreo e instrumento

Se realizó un diseño muestral no probabilístico de tipo intencional, ya que los universos de cada tipo de productores eran muy diferentes, y el de AC era extremadamente pequeño (solo tres productores lo practicaban). Con esto se consiguió que la muestra fuese lo más representativa posible y que permitiera conseguir datos relevantes para el estudio, a pesar de ser un muestreo no probabilístico. Se determinó una muestra representativa de 21 productores, de una población de 120 productores locales activos pertenecientes al ejido. Dicha muestra tiene 92.5% de confiabilidad suficiente para aspectos generales según Rojas (2013) del ámbito socioeconómico, se calculó el ‘margen de error para población y muestra definida’ de 17.6% (Ecuación 1) (Morales, 2012) donde $z = 1.29$, $p = 0.5$ y $q = 0.5$ debido a que existe total heterogeneidad en las respuestas, N el tamaño de la población y n el tamaño de la muestra.

$$\text{Ecuación 1. } e = \sqrt{\left[\frac{pqz^2}{n}\right] \left[\frac{N-n}{N-1}\right]}$$

Se diseñó una entrevista semiestructurada, que tomó como base la metodología de Marco Lógico (Ortegón, 2005) acorde a los objetivos del estudio para ser congruente consigo misma y tomando como referencia la propuesta de Zhu *et al.* (2012) para el manejo del agroecosistema, incluyendo aspectos sociales y económicos (Cuadro 10). En el apartado de anexo se puede consultar la versión final de la entrevista con la que se trabajó: **“ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA ENFOCADA A PRODUCTORES DE MAÍZ Y SUS POSIBLES CULTIVOS ASOCIADOS”**.

Cuadro 10. Marco lógico de construcción de variables e indicadores por variable.

Objetivo	Variables	Indicadores	Información de interés
1) Evaluar el uso de medios de producción y trabajo, y la salud de cada agroecosistema, diferenciando y ubicando los procesos claves.	Manejo del agroecosistema	Sistema de producción	Tipo de sistema de producción, justificación y ventajas, etapas o fases del sistema de producción, tecnología y mano de obra, insumos
		Manejo Integral de Nutrientes	Qué tipo de fertilizante utiliza (estiércol, abono comercial, fertilizante, otro), cantidad, de dónde lo obtienen, dónde lo aplican, cómo lo aplican, cada cuánto lo aplican, recuperación del suelo.
		Manejo Integral de Suelo	Tipo de cultivo, antecedentes del manejo, mínimo o reducido laboreo, mantener mantillo sobre la tierra, añadir materia orgánica a los suelos arcillosos, evitar el cultivo de o trabajar un suelo arcilloso cuando está mojado, incrementar las contribuciones de nitrógeno de las leguminosas, utilización de abonos verdes.
		Manejo Integral de Agua	Riego por goteo, el acolchado, la labranza reducida, manejo de cobertura cortavientos para el control de la sombra, recolección de agua, disolución de pesticidas o fertilizantes.
	Salud del agroecosistema	Manejo Integral de Plagas	Rotación de cultivos, siembra de variedades resistentes a las plagas, eliminación de hospedantes alternativos que pueden albergar plagas, exploración de los enemigos de las plagas, herbicidas menos tóxicos, labranza antes de sembrar, el cultivo entre hileras, escarda, siembra de plantas nativas que atraen a los insectos benéficos, retirar de partes dañadas.
		Salud del suelo	Cambios en la fertilidad, pérdida de suelo, magnitud de los efectos.
		Biodiversidad Economía	Especies animales y vegetales observados en la parcela Gastos en insumos, inversión en herramientas y maquinaria, gastos en mantenimiento de equipo, valor del producto, ingresos extras.
2) Analizar y comparar el comportamiento de cada agroecosistema, determinando el manejo más óptimo de los recursos para elaborar una propuesta alternativa.	Organización social		Participación en: ONG, movimientos, partido político Opinión sobre otro sistema de producción Concordancia o desacuerdo con tal Apropiación o resistencia del mismo

Fuente: elaboración propia.

13.1. Submuestra de trabajo

Debido a la heterogeneidad de los agrosistemas, a partir de la muestra representativa se determinó una submuestra de 'productores característicos' (parcelas) con la que se trabajó para poder realizar una comparación transversal entre los agrosistemas de interés y analizar el estado de salud de los mismos. Los criterios para la selección de los productores que conformarían esta submuestra fueron: el manejo agrícola, nutrición, sanidad e inocuidad y tecnología postcosecha (Cuadro 11). Donde las labores agrícolas encontradas en el área de estudio para las parcelas son: abonado, tirar zacate, el 1^{er} rastreo, subsoleo, 2^o rastreo, la surcada, siembra, escarda y aporcada; sin embargo, no todos los productores realizan todas estas actividades. Para las características de cada agrosistema se tomó en cuenta la observación *in situ*, se tomó de referencia la descripción presentada previamente de AT y ACV, pero en el caso de AC se tomó en cuenta los anexos de evaluación del programa MasAgro donde se especifica las características de la agricultura de conservación sea cual sea su variante (mínima, camas permanentes o cero labranzas). Aunque todos los productores utilizan fertilizantes sintéticos se eligieron dos de cada tipo de agrosistema: productor 06 y 21 para AT, productor 01 y 04 para AC, productor 07 y 09 para ACV. Además, se incluyeron dos sitios poco perturbados del ecosistema nativo (B) que son relictos de bosque encino-pino, siendo en total seis parcelas y dos testigos, donde los testigos sirvieron de referencia para analizar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Cuadro 11. Criterios para la submuestra de productores característicos de acuerdo al tipo de agrosistema de interés.

Criterio	Agricultura tradicional	Agricultura de conservación*	Agricultura convencional
Manejo agronómico	<p>Uso de yunta tipo egipcio con tracción animal como: caballos, bueyes, sémilas o cumentos.</p> <p>Después de cierta altura del maíz, para las labores agrícolas utilizan herramientas manuales como machete y coa, así como la propia mano.</p> <p>Uso de semillas criollas.</p> <p>Practican la rotación de cultivo, el policultivo o bien asociación.</p> <p>Cobertura nula o parcial del suelo a través del rastrojo.</p>	<p>Reducción de número de pasos de maquinaria.</p> <p>Uso de tractor en la reformación de camas (de ser necesario) así como en la siembra y cosecha</p> <p>Generan mulch con cierto porcentaje de restos de cultivos anteriores en diferente grado de descomposición (>30% de la superficie cubierta)</p> <p>Uso de cultivos de cobertura (como canavalia o leguminosas)</p> <p>Asociación de cultivos</p> <p>Uso de semilla mejorada (variedades, híbridos y OPV de alto rendimiento) ya sea nacional o no.</p> <p>Rotación de cultivos</p>	<p>Uso de tractor en las labores agrícolas, cosecha y postcosecha.</p> <p>Uso de semillas mejoradas (híbridos o transgénicas)</p> <p>Practican el monocultivo.</p> <p>Eliminan la cobertura del suelo.</p> <p>No practican la rotación, asociación o policultivo.</p> <p>Instalaciones de riego (aspersión, goteo, rodado)</p>
Nutrición	<p>Uso de abonos orgánicos (estiércol fresco o composteado)</p> <p>Adición de fertilizante químico.</p>	<p>Uso de abonos orgánicos (estiércol fresco, composteado, vermicomposta, humus de lombriz, humus líquido, te de composta)</p> <p>Análisis de suelo para fertilización, uso de sensores infrarrojo para determinar deficiencias de nitrógeno.</p> <p>Fertilización balanceada o fraccionada, uso de biofertilizantes (micorrizas, azospirilum, rizobacterias), uso de micronutrientes y/o mejoradores del suelo (cal agrícola, materia orgánica, estiércol, otro).</p>	<p>Uso intensivo de fertilizantes químicos</p>

Referencia: *=criterios adaptados de la tabla de evaluación proporcionada por el Ing. Esteban Pérez Torres, asesor técnico del MasAgro. Fuente: elaboración propia.

Continuación del Cuadro 11

Criterio	Agricultura tradicional	Agricultura de conservación*	Agricultura convencional
Sanidad e inocuidad	Control de arvenses a través de medios químicos-físico (uso de aspersoras de mochila). Control de arvenses por medios manuales (machete, coa, mano).	Uso de semillas resistentes a plagas y enfermedades. Control de arvenses a través de medios químicos-físico (uso de aspersoras de mochila o de motor). Control de enfermedades/plagas a través de medio químicos o biológicos.	Uso intensivo de medios químicos de control de arvenses, hongos e insectos.
Tecnologías postcosecha	Uso de costales de plástico para almacenamiento en cuartos. Almacenamiento en cuartos especiales	Uso de silos y/o bolsas herméticas como bolsa plástica de PVC flexible, silo metálico, lona de PVC flexible para 1 o 5 tns.	Uso de costales de plástico para almacenamiento en bodegas, o uso de silos.

Referencia: *=criterios adaptados de la tabla de evaluación proporcionada por el Ing. Esteban Pérez Torres, asesor técnico del MasAgro. Fuente: elaboración propia.

13.2. Muestreo en campo y análisis de muestras

Cada entrevista tuvo una duración entre 1.5-2 h, con respaldos en grabaciones de audio y observaciones directas en campo. En las parcelas y en los testigos se colectaron tres monolitos de 25x25x30 cm en un transecto lineal en medio de cada parcela seleccionada con una separación de 5 m entre cada monolito. Se realizó análisis químico a la muestra de suelo de cada monolito en el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Estado de México, así como análisis físicos y biológicos en el Laboratorio de Biología de Suelos del Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, donde se cuantificó y clasificó la macrofauna encontrada en cada monolito por grupos taxonómicos.

13.3. Construcción del Índice de Manejo del Agroecosistema (IMA)

El índice de manejo del agroecosistema se construyó con base en el marco propuesto por Zhu *et al.* (2012) de información obtenida de las entrevistas semiestructuradas que, de acuerdo a los intereses del presente estudio, ayudaría a saber si las prácticas que llevan a cabo los productores están fomentando o no, lo que cada indicador promueve. Es decir, la derivación de los indicadores fue por “*bottom-up*” (Astier *et al.*, 2008) debido a que estos se obtuvieron de la información encontrada en el área de estudio. A partir de dicho marco lógico, se proponen subindicadores con su propia escala (Cuadro 12). La escala que se propone va del 0 al 5, donde las calificaciones que tienden a 0 implican que dicha práctica es la menos recomendable; por el contrario 5 es la mayor calificación e indica que es la más recomendable debido a los beneficios que ofrece. La calificación está bajo responsabilidad del evaluador quien tendrá facultad de poner una calificación intermedia dependiendo del grado con que cumpla el productor conforme el subindicador. Cada subindicador es complementario a otro, por lo que hay que tener cuidado en describir correctamente las actividades a través de la entrevista semiestructurada. Para asignar el valor correspondiente de la actividad reportada por el productor.

Cuadro 12. Escala para cada subindicador de los indicadores propuestos para el IMA.

Indicador	Subindicadores	Escala	Valores
Manejo Integral de Nutrientes (MIN)	Uso de estiércol (USO _{EST})	1	No aplica
		2	Fresco
		3	Seco
		4	Compostado
		5	Enriquecido
	Tipo de fertilización (TIPO _{FERT})	1.25	No aplica
		2.50	Sintética
		3.75	Sintética y orgánica
		5	Orgánica
	Manejo de residuos (MJO _{RSDO})	0.83	Quema rastrojo
		1.66	Saca todo no incorpora
		2.49	Saca todo, pero sí incorpora
		3.32	Deja una parte, no reincorpora
		4.15	Deja una parte y reincorpora
		5	Deja todo
Manejo Integral del Suelo (MIS)	Grado de tecnificación (GDO _{TEC})	1	Uso principal de maquinaria
		2	Maquinaria y herra. manuales
		3	Maquinaria, yunta y herra. manuales
		4	Yunta y herra. manuales
		5	Herra. manuales y práctica manual
	Intensidad de cultivo (INT _{CULT})	1	150-160 mil plantas/ha
		1.5	140-150 mil plantas/ha
		2	120-140 mil plantas/ha
		2.5	100-120 mil plantas/ha
		3	95-100 mil plantas/ha
		3.5	90-95 mil plantas/ha
		4	80-90 mil plantas/ha
		4.5	70-80 y 40-50 mil plantas/ha
	5	50-70 mil plantas/ha	
	Intensidad de uso (INT _{USO})	1.25	No hace rotación
		2.5	Rotación con gramínea
		3.75	Rotación con gramínea o leguminosa
		5	Rotación con leguminosa
	Labores en suelo (LBS _{SOIL})	0.83	6 Actividades
		1.66	5 Actividades
		2.49	4 Actividades
		3.32	3 Actividades
		4.15	2 Actividades
		5	1 Actividades
Fuente: elaboración propia.			

Continuación del Cuadro 12

Indicador	Subindicadores	Escala	Valores
Manejo Integral del Suelo (MIS)	Uso de tractor (USO _{TRAC})	0.71	6 Actividades
		1.42	5 Actividades
		2.13	4 Actividades
		2.84	3 Actividades
		3.55	2 Actividades
		4.26	1 Actividades
	Uso de yunta (USO _{YUNT})	5	0 Actividades
		2	3 Actividades
		3	2 Actividades
		4	1 Actividades
		5	0 Actividades
	Conservación de suelo (CONS _{SOIL})	1.25	Desnudo
		2.5	Arvenses
		3.75	Barreras vivas
		5	Mulch
	Control de erosión (CTRL _{ERO})	1	Ninguna actividad
		2	Barrera viva, sin mulch y terraza
3		Mulch, sin barrera viva y terraza	
4		Barrera viva, con manto de rastrojo sin terraza	
5		Barrera viva, con mulch y terraza	
Manejo Integral de Agua (MIA)		1.25	Desnudo
		2.5	Cortina rompe viento
		3.75	Barreras arbustivas
		5	Mulch
Manejo Integral de Plagas y Enfermedades (MIPE)		1	Químico
		3	Manejo integrado
		5	Agroecológico
Fuente: elaboración propia.			

13.4. Descripción de cada subindicador del IMA

13.4.1. Manejo integral de nutrientes (MIN)

Aunque está estrechamente relacionado con el manejo integral del suelo, aquí se aborda únicamente las actividades que se refieren a los insumos relacionados con la fertilización, ya sea endógenos o exógenos al agrosistema.

a) Uso de estiércol

Se calificó el efecto del estiércol de acuerdo al estado en que es reintegrado o no al agrosistema. Tomando en cuenta que la reintegración del estiércol también es fuente de alimento para fomentar la actividad biológica (Juárez *et al.*, 2009; 2011) y el mantenimiento de la fertilidad del suelo a través del reciclaje de residuos (Brévault *et al.*, 2005) después de haber sido consumidos por el ganado. Únicamente hay que calificar de acuerdo a la actividad que se reporte (Cuadro 12)

b) Tipo de fertilización

De acuerdo al origen de los fertilizantes, se califica el efecto que éste puede tener en el agrosistema (Cuadro 12). Así, debido a que sólo se contemplan cuatro escalas en este subindicador se le asignó el valor correspondiente de manera proporcional. Donde la nula aportación de nutrientes es lo menos deseable debido a que se empobrece al suelo por la continua extracción de los mismos por los cultivos (Juárez *et al.*, 2009), seguido del inconveniente que presenta la sólo fertilización sintética debido a su alta pérdida por lixiviación (Stevenson y Cole, 1999), considerando que la combinación de fertilización sintética y orgánica (estiércol y/o rastrojo) es mejor metodología para evitar el uso excesivo de los primeros, así finalmente, la fertilización orgánica se perfila como la mejor opción debido a que libera paulatinamente los nutrientes (Brévault *et al.*, 2005; Raunet y Naudin, 2006; Juárez *et al.*, 2009).

c) Manejo de residuos

Respecto a las actividades que se reportan en el área de estudio, se tomaron en cuenta seis de ellas, a las que se les asignó una calificación proporcional (Cuadro 12). Donde la quema de rastrojo es la menos recomendada debido a los efectos adversos como la erosión, pérdida de biodiversidad y fertilidad, entre otros (Govaerts *et al.*, 2006; FAO, 2012). Después se considera menos dañino sacar todo el rastrojo y que no lo reincorpore al menos como estiércol, ya que despojar de rastrojo al suelo implica la erosión del mismo, pérdida de biodiversidad, de humedad y fuente de alimento para la edafobiota, además, disminuye la calidad del suelo en sus propiedades químicas (Govaerts *et al.*, 2006; 2007a, b y c). De modo que, se considera menos perjudicial sacar todo el rastrojo, pero al menos reincorporarlo como estiércol como se mencionó previamente en el 'uso de estiércol'. Seguido de dejar una parte del rastrojo, aunque no reincorpore como estiércol lo demás que fue utilizado para alimento del ganado; esto debido a que se recomienda dejar al menos 30% del rastrojo que propicie sus efectos positivos (Baker *et al.*, 2007; Govaerts *et al.*, 2007b). Así que, dejar una parte de rastrojo y reincorporar estiércol brinda beneficios a largo y corto plazo. Mientras que dejar todo el rastrojo se considera la mejor práctica a largo plazo (Govaerts *et al.*, 2005; AFD y FFEM, 2007). Cabe señalar que la agricultura cero de la que hablan Govaerts *et al.* (2005) se trata específicamente de camas permanentes, la cual es desarrollada por los productores que aquí se denomina agricultura de conservación

13.4.2. Manejo integral del suelo (MIS)

a) Grado de tecnificación

Este subindicador fue elaborado especialmente de acuerdo con lo que reportan los productores, ya que aun dentro de los productores que se podrían considerar del mismo tipo de sistema, llevan a cabo sus actividades de labranza de suelo con diferentes implementos (Cuadro 12). Para las actividades de labranza del suelo se consideran las siguientes: subsoleo, la rameada (tirar zacate), barbecho, nivelada, el rastreo, la surcada,

siembra y aporcada. De modo que las actividades en las que también utilizan otro implemento para transporte o empaquetado, quedan excluidas, tales como: camionetas, carretas, empacadora y desgranadora. Aquí se considera más perjudicial el uso exclusivo de maquinaria pesada debido a que compacta el suelo con una mayor presión que provoca compactación a mayor profundidad, es decir, piso de arado (Agüero y Alvarado, 1983). Seguido de una combinación de uso de maquinaria y herramientas manuales que merman el impacto de la maquinaria, aunque estas últimas son utilizadas únicamente en la escarda. Posteriormente se considera menos perjudicial la combinación de uso de maquinaria, yunta y herramientas, aunque varía el uso de las dos primeras, siendo las herramientas manuales sólo para la escarda. Y finalmente, se considera el menos perjudicial la combinación de uso de yunta y herramientas manuales, ya que el animal de tracción compacta sólo la parte superficial del suelo (Agüero y Alvarado, 1983). Donde la mejor práctica es el uso de herramientas y prácticas manuales, debido a que el tránsito de las personas genera la menor compactación. Cabe señalar que, para el agrosistema de agricultura de conservación, se le asignó la calificación más alta, aunque no utilicen exclusivamente herramientas y prácticas manuales, pero debido a que sólo durante la siembra utilizan maquinaria, esto se consideró equivalente por las pocas actividades de laboreo que realizan.

b) Labores en suelo

A pesar que en las prácticas de cultivo utilicen herramientas y/o prácticas manuales se considera de relevancia la cantidad de labores que realizan en el suelo. Ya que los efectos negativos de éstas, son más pronunciadas cuantas más veces se remueva el suelo (Agüero y Alvarado, 1983), especialmente sobre la propiedad biológica del mismo que están íntimamente relacionados con las propiedades físico-químicas (Brévault, 2005; FAO, 2008; Sharley *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2011). Así de las anteriores actividades se exceptúa la rameada ya que esta no implica la remoción del suelo, quedando por lo tanto siete posibles actividades a realizar, de las cuales, de acuerdo con las entrevistas, seis son el máximo número de actividades que realizan los productores. De modo que se les asignó una calificación proporcional. Donde la menor calificación

indica que se realizan la máxima cantidad de labores, y por el contrario la mayor calificación indica la mínima cantidad de las mismas (Cuadro 12). Aún dentro de los efectos de la cantidad de labores realizadas en el suelo se considera que hay diferencia en usar tractor o yunta para realizar dichas actividades (Agüero y Alvarado, 1983). De modo que en los siguientes dos subindicadores se especifica el tipo y uso de maquinaria que cada productor implementa en las labores del suelo.

c) Uso de tractor

Se propuso que de la cantidad de actividades de labor en suelo, se cuantifique las realizadas con tractor (Cuadro 12). Lo que resultó en un máximo uso en seis actividades, adicionando una escala más considerando que no usen tractor sino exclusivamente yunta, por lo cual se le asignó una calificación, considerando que cuantas más actividades realicen es menos apropiado.

d) Uso de yunta

Del mismo modo, se propuso que de la cantidad de actividades de labor en suelo se cuantifique las realizadas con yunta (Cuadro 12). Lo que resultó en un máximo uso en cuatro actividades, adicionando una escala más considerando que no usen yunta sino exclusivamente tractor, por lo cual se le asignó una calificación, considerando que cuantas más actividades realicen es menos apropiado.

e) Intensidad de cultivo

Este subindicador está basado en las recomendaciones de densidad de siembra del INIFAP (2007b) para la región de desarrollo rural de Libres (Cuadro 12), donde se ubica el área de estudio. Donde los valores establecidos de alto, medio y bajo potencial productivo para el ciclo primavera-verano están en un rango de 50-60mil plantas ha⁻¹. La densidad óptima para este subindicador se encuentra en un rango de 50-70mil plantas ha⁻¹, posteriormente los rangos tienden a aumentar, por lo que se calificó como menos

apropiado cuanto más se aleja de la densidad recomendada por el INIFAP (2007b). O de lo contrario, para los que se encuentran por debajo de la óptima densidad, también decrece la calificación conforme a las densidades encontradas en el área de estudio.

f) Intensidad de uso

Este subindicador ha sido adaptado a las actividades reportadas (Cuadro 12), ya que ningún productor entrevistado mencionó dejar sin cultivar por cierto tiempo su tierra, sino que se encontró una práctica común de rotación a lo cual llaman “descansar la tierra”. No obstante, debido a que dicha rotación la realizan tanto con gramínea como leguminosa, se ha considerado la siguiente escala de acuerdo a los efectos que tiene el tipo de familia al que pertenece el cultivo con que hace la rotación, debido a que las leguminosas aportan nitrógeno al suelo (Juárez *et al.*, 2011), mientras que las gramíneas utilizadas en el área de estudio, únicamente extraen. Por lo que se considera como lo menos recomendado no realizar rotación. Seguido de realizarla únicamente con gramíneas, sin embargo, alternar con gramínea y leguminosa se considera mejor práctica de cultivo. Y finalmente la rotación exclusivamente con leguminosa, posee la máxima calificación debido a la aportación de nitrógeno que hacen al suelo.

En el Cuadro 13 se muestra el tipo de cultivo con que hace rotación cada productor. Se puede observar que algunos tienen más gramíneas o leguminosas, por lo que la calificación es asignada arbitrariamente de acuerdo a la escala que se acerque más. Por ejemplo, al productor 01 se le asignó un valor de 3, por tener más tendencia al uso de gramíneas. Mientras que los que sólo hacen rotación con leguminosa obtuvieron la máxima calificación, aunque sea sólo un tipo de cultivo, por el contrario para quienes sólo rotan con gramínea obtuvieron la mínima calificación.

Cuadro 13. Cultivos con los que hace rotación cada productor.

Clave	Nombre del Productor	Haba	Frijol	Alverjón	Cebada	Trigo	Ayocote
01	Alejandro Feliciano Fernández	1	0	0	1	1	0
02	José Cruz Vitoriano Vázquez Rosas	0	0	0	1	0	0
03	José Leopoldo Secundino Hernández	0	0	0	0	0	0
04	Orlando Feliciano Fernández	1	1	0	0	0	0
05	Lucas Pascual Feliciano Fernández	1	1	1	0	0	0
06	Luis Flores Vázquez	1	1	0	1	1	0
07	José Esteban Nicolas Gómez Valerio	1	1	0	1	1	0
08	José Silverio Luciano Fernández Rosas	1*	0	0	0	0	0
09	Francisco Valerio Sánchez	1	1	0	1	1	0
10	Leovardo Moreno Feliciano	0	0	0	0	0	0
11	Ramón Sánchez Rosas	0	1	0	1	1	0
12	José Holigario Cruz Fernández García	1	1	0	1	1	0
13	José Antonio Pablo de Jesús Hernández	1	1	1	1	1	0
14	José Federico Antonio Fernández Pérez	0	1	0	1	1	0
15	José Fermín Alberto Nicolas Fernández	1	1	0	1	0	0
16	Jhonathan Feliciano Juárez	0	0	0	1	1	0
17	Lázaro Gómez Robles	0	0	0	1	0	0
18	Rufino Flores Vázquez	0	1	0	1	1	0
19	José Leonardo Andrés Juárez Flores	1	1	0	1	0	0
20	Porfirio de Germán Secundino	0	0	0	1	1	0
21	José Manuel Fernández Gómez	0	1	0	0	0	1

Referencia: 1=Utiliza dicho cultivo; 0=No utiliza dicho cultivo; *=a veces hace rotación y utiliza dicho cultivo. Fuente: elaboración propia.

g) Conservación de suelo

Debido al impacto que sufre el suelo al dejarlo expuesto a los eventos climáticos, se califican diferentes actividades para la conservación del mismo (Cuadro 12), ya que es uno de los principales recursos inherente que tiene el agrosistema. De modo que dejar desnudo al suelo se considera la práctica menos recomendada. Enseguida, se contempla a las arvenses dentro de la escala de este subindicador, a pesar de no ser una práctica deliberada para evitar que el suelo esté desnudo y por ende, se evite la erosión en caso de no existir otra práctica, además estas contribuyen a hospedar controladores naturales y poseen propiedades alelopáticas a favor del cultivo si tienen

un manejo adecuado (Blanco y Leyva, 2007). Posteriormente se contempla las “barreras vivas” las cuales pueden ser tanto de bajo como de alto porte, es decir desde arbustivas, frutales hasta maderables, las cuales a través de sus raíces y el arreglo de siembra ayudan a la retención del suelo (FHJC, 2004; Juárez *et al.*, 2011). Finalmente, se considera el uso del mulch como la mejor de las prácticas debido a sus múltiples beneficios que propicia a las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Govaerts *et al.*, 2005; 2007a; 2007b; 2009), este se diferencia del “mantillo” en cuyo caso más bien se refiere a zonas de bosque o el “rastrojo” el cual también es de restos de cosecha, aunque podría ser de reciente depósito. Por lo que al decir “mulch” nos referimos al resultado de haber dejado rastrojo que se ha acumulado sobre el suelo, se caracteriza por estar en diferentes estados de degradación y en consecuencia posee cierto espesor sobre el suelo.

h) Control de erosión

Conjugado con el anterior subindicador, para el control de la erosión se tomaron en cuenta las prácticas que se reportaron a través de las entrevistas y se propuso una escala que considera la combinación de ellas de la manera que mejor contribuye al control de la erosión (Cuadro 12).

13.4.3. Manejo integral del agua (MIA)

A través de este indicador se prevé rescatar actividades que permitan apreciar las actividades que los productores hacen para que el recurso agua permanezca por más tiempo en el suelo y promueva un desarrollo vegetal adecuado mientras esté el cultivo, pero también después del cultivo para mantener condiciones propicias para la edafobiota (Loredo *et al.*, 2004; Juárez *et al.*, 2011). Originalmente, para este indicador se contempló los diferentes modos de riego como secano, rodado, aspersión y por goteo, sin embargo, en el área de estudio sólo realizan cultivos de secano, por lo que se descartó este subindicador. También, la práctica de ‘bordos de tierra’ fue descartada, debido a que era

la única práctica para la retención de agua de lluvia, lo que provocó baja variabilidad en este subindicador y ruido en los análisis estadísticos.

a) Control de la evapotranspiración

Como complemento de las actividades anteriormente descritas, este subindicador considera las que en lo posible eviten que la humedad capturada se pierda rápidamente (Cuadro 12). De modo que se considera como la peor práctica, dejar desnudo al suelo, es decir, sin arvenses y/o mulch. En seguida, se considera que las cortinas rompevientos ayudan a controlar la evaporación por la sombra que proyectan debido a que son especies arbóreas de mayor porte, no obstante, esta sombra puede interferir el crecimiento de los cultivos de interés debido a que no recibe suficiente energía solar. De modo que, en este sentido, se considera menor obstáculo para el crecimiento del cultivo de interés el uso de barreras arbustivas, cuyas especies plantadas son de menor porte (FAO, 2006). Nuevamente se plantea como mejor práctica el uso del mulch, ya que no obstaculiza que la energía del sol llegue a las hojas del cultivo de interés y mantiene la humedad del suelo (FAO, 2006; Govaerts *et al.*, 2009).

13.4.4. Manejo integral de plagas y enfermedades (MIPE)

Para este subindicador se modificó la propuesta de Zhu *et al.* (2012) ya que se consideran los diferentes manejos existentes (Cuadro 12). Donde se considera que el menos indicado es el uso exclusivo de químicos sintéticos promovido por la revolución verde (Gliessman, 2002; Sarandón *et al.*, 2014). Seguido del llamado manejo integrado que combinan químicos sintéticos y extractos naturales, además de prácticas culturales, legales, físicas y biológicas (Anchondo, 2009; Zhu *et al.*, 2012). Por tal motivo, se propone como la mejor opción realizar prácticas agroecológicas (Brussaard *et al.*, 2007), en cuyo caso lo deseable es que tenga nulo uso de químicos de síntesis, promueva el uso de extractos naturales, mantenga las demás prácticas culturales que contempla el “manejo integrado” (Anchondo, 2009) y el entendimiento de las interacciones ecológicas entre arvenses y la fauna que habita en ellos (Blanco y Leyva, 2007), además de su

comportamiento dentro del suelo y la edafobiota encontrada allí (Loredo *et al.*, 2004; FAO, 2008). De acuerdo con las prácticas reportadas por los productores, sólo el productor 06 utiliza exclusivamente herramientas manuales (pala o azadón) contra las arvenses, mientras que los demás hacen una combinación de estas prácticas, ya que también utilizan químicos sintéticos. De este modo, ningún productor obtuvo la máxima calificación; no obstante, algunos productores tienden más a un manejo integrado, por lo que se les calificó cercanamente.

13.5. Construcción del Índice de Salud del Agroecosistema (ISA)

El Índice de Salud del Agroecosistema (ISA) se construyó con base en el concepto aquí propuesto de agroecosistema, bajo el Enfoque Territorial de Desarrollo (Sepúlveda *et al.*, 2005) así como Agroecológico (Caporal *et al.*, 2009). El ISA se integró por la dimensión ambiental (ISA_{Amb}) con tres indicadores: las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para la salud del suelo (FAO, 2008) con algunos factores (Juárez *et al.*, 2011); y para la dimensión socioeconómica (ISA_{SE}) el ingreso neto anual por unidad de producción (INAUP) (Uribe, 2012). La metodología propuesta se aplicó a las propiedades químicas del suelo (ISA_{Amb-Q}), construyendo escalas de intervalo (Astier *et al.*, 2008; Rojas, 2013) para cada factor con información de antecedentes, donde cada intervalo se relacionó con un valor dentro de una escala del 0 al 5, de modo que calificaciones cercanas a 0 indican valores de los factores donde el desarrollo del maíz sería inadecuado y por el contrario al acercarse a 5 indica condiciones idóneas (Cuadro 14). Pero debido a la carencia de bibliografía que respalde intervalos para las propiedades físicas y biológicas, se calificaron con una escala ordinal de acuerdo al nivel de degradación en que se encuentran respecto al ecosistema nativo (Juárez *et al.*, 2011), mientras que para la dimensión socioeconómica la escala ordinal tomó en cuenta el INAUP de cada productor y los umbrales de reproducción social determinados (Cuadro 15). Todos los factores se estandarizaron a la misma escala y recibieron la misma ponderación.

Cuadro 14. Escala para cada indicador contemplado para el ISA_{Amb}.

Indicador	Factor	Escala	Intervalo
Propiedades químicas del suelo (ISA _{Amb-Q})	Potencial de hidrógeno (pH)*	1.25	<5.5
		2.5	5.6-6.0 y >8.3
		3.75	6.1-6.5 y 7.4-8.2
		5	6.6-7.3
		5	6.6-7.3
	Materia Orgánica (MO) (%)	0.83	<0.6
		1.66	0.61-1.2
		2.49	1.21-1.8
		3.32	1.81-2.4
		4.15	2.41-3.0
	Nitrógeno (N) (%)	5	>3.1
		1.25	<0.05
		2.5	0.05-0.10
		3.75	0.10-0.15
		5	≥0.15
	Fósforo (P) (mg Kg ⁻¹)	1.25	≤5.0
		2.5	5-10
		3.75	10-20
		5	≥20
		5	≥20
Potasio (K) (meq K 100g ⁻¹)	1.25	≤0.12	
	2.5	0.12-0.25	
	3.75	0.25-0.51	
	5	≥0.51	
	5	≥0.51	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Cmol(+) Kg ⁻¹)	1.25	≤5	
	2.5	5-15	
	3.75	15-20	
	5	≥20	
	5	≥20	
Conductividad eléctrica (CE) (dSm ⁻¹)	1	>16.0	
	2	8.0-16.0	
	3	4.0-8.0	
	4	2.0-4.0	
	5	<2.0	

Referencia: *=Nombre clave para reconocer cada indicador o factor. Fuente: Elaboración propia, basados en cuadros obtenidos de Siebe *et al.* (1996) y Vázquez (1999).

Cuadro 15. Escala ordinal para los factores en el ISA.

Escala	Criterio			Dimensión socioeconómica
	Propiedades físicas	Dimensión ambiental		
		Propiedades químicas	Propiedades biológicas	
1	Primer valor cercano a los de B	Primer valor cercano al idóneo para cultivo de maíz	Comportamiento de macrofauna cercano al esperado según Juárez <i>et al.</i> (2011)	Primer valor de INAUP que tiende a satisfacer tanto la LB como LBM
2	Segundo valor cercano a los de B	Segundo valor cercano al idóneo para cultivo de maíz	en abundancia, biomasa y diversidad.	Segundo valor de INAUP que tiende a satisfacer tanto la LB como LBM
3	Tercer valor cercano a los de B	Tercer valor cercano al idóneo para cultivo de maíz		Tercer valor de INAUP que tiende a satisfacer tanto la LB como LBM

Referencia: B=Ecosistema nativo, INAUP=Ingreso neto anual por unidad de producción, LB=Línea de bienestar, LBM=Línea de bienestar mínima . Fuente: Elaboración propia.

13.6. Descripción de cada subindicador del ISA

13.6.1. Dimensión ambiental

Para esta dimensión se contempló como objetivo el mantenimiento de la salud del suelo, entendida como la capacidad del suelo para funcionar como un sistema vivo o dinámico, que implica la interacción entre sus tres principales componentes, como son las propiedades físicas, químicas y biológicas (FAO, 2008). Además, se coincide con Doran y Parkin (1994) en que es “la capacidad del suelo de funcionar efectivamente en el presente y futuro o la capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental, y promover la salud vegetal y animal”, que redundo en la salud humana (Sojka *et al.*, 2003).

13.6.1.1. Potencial de hidrógeno

El valor de potencial de hidrógeno permite hacer inferencias con relación a la disponibilidad relativa de nutrientes (Siebe, Jahn y Stahr, 1996) (Cuadro 14). Donde el rango óptimo de movilidad de nutrientes se encuentra entre 6.6-7.3 por lo que este rango

tiene la máxima calificación y conforme los valores de pH se alejan de este rango obtienen menor calificación. Los rangos están basados en el Cuadro 12 del trabajo realizado por Vázquez (1999).

13.6.1.2. Materia orgánica

Los materiales orgánicos son fuente de energía para los organismos, la disponibilidad que presente en términos de cantidad es significativo para el incremento de poblaciones descomponedores, pero al mismo tiempo la calidad del material repercute en la salud e incremento de la biomasa de los organismos, principalmente con el nitrógeno (Juárez, Fragoso, Aragón, Hernández y Salgado, 2011). Se tomó como referencia el Cuadro 14 de Vázquez (1999) donde se toma en cuenta que los valores de 3.1% en adelante son ricos en MO por lo que se le asignó la calificación más alta y conforme disminuye de acuerdo a los rangos mostrados *ibídem* obtienen menor calificación (Cuadro 14).

13.6.1.3. Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes para las plantas, pero a la vez uno de los más limitantes en los suelos de Latinoamérica. Es fundamental para formar los órganos vegetativos y de reproducción de las plantas, fomenta el crecimiento rápido y aumenta el contenido de proteínas en los granos; sin el nitrógeno no se puede concebir la vida vegetal (FHJC, 2004). Para elaborar la escala se tomó de referencia el Cuadro 17 de Vázquez (1999) donde menciona que valores arriba de 0.15% son ricos en N por lo que se le asignó la calificación más alta y conforme disminuye de acuerdo a los rangos mostrados *ibídem* obtienen menor calificación (Cuadro 14).

13.6.1.4. Fósforo

El fósforo es requerido por las plantas especialmente para el proceso de producción de energía, este ayuda al buen crecimiento de las mismas, favorece la formación de raíces fuertes y abundantes, contribuye a la formación y maduración de las frutas, además, es

indispensable en la formación de las semillas. Es uno de los nutrientes más escasos en los suelos latinoamericanos (FHJC, 2004). Según el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (2000) establece que valores mayores a 20.1 mg kg^{-1} indica que son ricos en este elemento por lo que se le asignó la máxima calificación y conforme disminuye de acuerdo a los rangos mostrados *ibídem* obtienen menor calificación (Cuadro 14).

13.6.1.5. Potasio

El potasio es uno de los nutrientes o minerales primarios que junto con el nitrógeno y el fósforo son utilizados en mayores cantidades por las plantas. Su presencia: 1. Ayuda a la planta a regular su contenido de agua y la hace más resistente a las sequías. 2. Ayuda a formar los azúcares, almidones y aceites en la planta; por eso es indispensable fertilizar con potasio los cultivos de caña de azúcar, cereales, tubérculos, plátano, etc. 3. Mejora la producción de las cosechas. 4. Ayuda a la planta a formar tallos fuertes y vigorosos. 5. Colabora a resistir ataques de hongos (FHJC, 2004). El INIA (2000) establece que valores mayores a $0.52 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ indica que son ricos en este elemento por lo que se le asignó la máxima calificación y conforme disminuye de acuerdo a los rangos mostrados *ibídem* obtienen menor calificación (Cuadro 14).

13.6.1.6. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) depende básicamente de los tipos de arcillas y sus respectivas cantidades presentes en un suelo, como también del contenido de materia orgánica (MO). La CIC se refiere a las cargas negativas que muestran en su superficie los coloides del suelo (principalmente arcillas y MO), por lo que pueden adsorberse a ellas cationes (ya sea nutrimentos o contaminantes), dichos cationes pueden ser intercambiados por cantidades equivalentes de otros cationes. La suma de todos los cationes intercambiables equivale a la CIC (Siebe *et al.*, 1996). Basado en el Cuadro 27 de Vázquez (1999) se considera que valores mayores de $20 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ son

deseables, por lo que se le asignó la máxima calificación y conforme disminuye de acuerdo a los rangos mostrados *ibídem* obtienen menor calificación (Cuadro 14).

13.6.1.7. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) se utiliza normalmente para indicar la concentración total de componentes ionizados en las soluciones. En este caso las sales solubles en el suelo que determinan la presencia en solución de una serie de combinaciones de los cationes. El valor de la CE está relacionado con la suma de los cationes (o aniones) y en general tienen correlación con los sólidos totales disueltos (Juárez J., Franco, Jaens y Ascencio, 2009). Debido a que el maíz es sensible a la salinidad (Lafitte, 1994) basado en los valores mostrados en el Cuadro 6 de Vázquez (1999) se tomó que valores por debajo de 2 dS m^{-1} son deseables para el buen crecimiento del maíz, por lo que se le asignó la máxima calificación y conforme aumenta de acuerdo a los rangos mostrados *ibídem* obtienen menor calificación (Cuadro 14).

13.6.1.8. Densidad aparente

Siebe *et al.* (1996) mencionan que la densidad aparente (DA) es un criterio importante para la evaluación del balance hídrico y de nutrimentos de un suelo, y determinante con relación a la permeabilidad y profundidad fisiológica, pero difiere de la densidad real porque incluye al espacio poroso. Sin embargo, en el presente estudio se tomó de referencia al ecosistema nativo (B), para calificar bajo una escala ordinal a cada agrosistema de acuerdo a los valores que obtengan de DA. De modo que la DA más cercana al valor obtenido por B obtuvo el primer lugar y así consecutivamente.

13.6.1.9. Volumen perdido por compactación

Con esta propuesta se analizó la pérdida de volumen que sufre el suelo por la compactación. Esta se determinó al medir 100 mL de tierra, posteriormente se simuló compactación hasta que el volumen no varió y se tomó nota de la diferencia del volumen que ocupó la tierra compactada, por lo que su unidad es en porcentaje (%). Para este factor se tomó de referencia el valor que obtuvo el suelo de B y se calificó con el primer lugar el valor de porcentaje de los agrosistemas más cercanos, y así consecutivamente con los otros dos agrosistemas. A través de este factor se pretende observar bajo qué agrosistema el suelo podría perder más capacidad de aire y agua lo que provocaría mayor estrés al cultivo, así como la dificultad de las raíces en penetrar.

13.6.1.10. Textura

La textura es la composición mecánica de un suelo, es decir, la distribución de los tamaños de las partículas que lo constituyen (Siebe *et al.*, 1996). De modo que lo deseable es que en los agroecosistemas se encuentre una textura parecida a B, puesto que de lo contrario se inferiría que se ha degradado. Para este factor se propuso el Cuadro 36 que contiene las texturas encontradas, donde a la textura encontrada en B se asignó la más alta calificación y así consecutivamente conforme se alejan de dicha textura.

Cuadro 16. Calificación asignada a cada tipo de textura encontrada.

Característica	Calificación
Migajón arenoso	1
Migajón arenoso que tiende a arena limosa	2
Arena limosa que tiende a migajón arenoso	3
Arena limosa	4
Arena limosa que tiende a arena	5
Arena que tiende a arena limosa	6

Fuente: elaboración propia.

13.6.1.11. Hojarasca o mulch

La hojarasca y el mulch son considerados como materia susceptible a descomposición. No obstante, cabe aclarar que el término de hojarasca se utiliza para los restos provenientes de los ecosistemas naturales, mientras que mulch se utiliza para referirse a los restos de cosechas encontrados en los agrosistemas. Ambos están compuestos por materia en diferente grado de descomposición, por lo que está latente y necesita ser procesada. Previamente se mencionó la importancia de este factor, donde se asignó la mayor calificación en una escala ordinal al agroecosistema que tenga la mayor cantidad de materia susceptible a descomposición y así consecutivamente.

13.6.1.12. Comportamiento de macrofauna

De acuerdo a Juárez *et al.* (2011) los recursos biológicos pueden generar una dinámica productiva sostenible. Esto a través de los factores de regulación biológica: humedad, temperatura y materiales orgánicos. De modo que las actividades que se hagan a favor de los organismos del suelo se reflejan en la abundancia, biomasa y diversidad; así mismo, mencionan que las áreas naturales menos perturbadas o de vegetación secundaria pueden presentar valores más altos en dichos indicadores que los agrosistemas. También indican que ciertas especies benéficas como las lombrices pueden dominar la biomasa en áreas naturales y que en los agrosistemas pueden dominar las plagas potenciales. La calificación que se asignó a los agrosistemas fue bajo una escala ordinal, donde la primera posición la obtuvo el agrosistema que tiene más presencia de lombrices y menor incidencia de plagas potenciales, es decir, un comportamiento similar al de B, por lo que las calificaciones consecutivas se asignaron conforme se alejan de este comportamiento deseado en la macrofauna.

13.6.2. Dimensión socioeconómica

Para esta dimensión se tomó de referencia dos umbrales de suficiencia económica basados en la metodología desarrollada por Uribe (2012). El primer umbral es el valor de la canasta alimentaria y no alimentaria considerada como “línea de bienestar” (LB), el segundo umbral es el valor de la canasta alimentaria que se considera como la “línea de bienestar mínimo” (LBM). Así pues, de acuerdo con el CONEVAL (2015) el valor mensual de LB hasta abril de 2015 para las zonas urbanas es de \$2,619.20 y para las zonas rurales de \$1,676.92; así mismo el valor mensual de LBM para las zonas urbanas es de \$1,286.79 y para las zonas rurales es de \$907.22. Cabe señalar que Uribe (2012) considera tres sistemas productivos: agrícola, pecuario y forestal, sin embargo, en este estudio debido a que se hace énfasis en el cultivo de maíz (en adelante se llamará sistema productivo de maíz (SPM)) únicamente se recolectó información respecto a este. De modo que en el aspecto económico se espera que el SPM propicie suficiencia económica con un nivel de reproducción social (NRS) más cercano tanto a la LBM y LB. De acuerdo con Uribe (2012) el NRS es un indicador que cuantifica el ingreso mínimo necesario para que una familia campesina pueda seguir dedicándose en este caso a mantener su SPM. Para determinar el NRS se calculó el valor agregado neto (VAN) (Ecuación 2) el cual es un indicador económico de la riqueza creada por el trabajo familiar y asalariado, por lo que muestran el nivel de eficiencia económica (es decir la riqueza producida) del conjunto de actividades de producción, que desarrolla cada unidad de producción (UP). Sin embargo, a diferencia de Uribe (2012), aquí no se recaudó información de la parte asalariada y los demás medios de ingreso familiar, sino sólo del SPM. El VAN se obtuvo de la diferencia del valor agregado bruto (VAB) (Ecuación 3) y la depreciación del capital fijo que incluye las herramientas y/o maquinaria utilizada. Para calcular el VAB se determinó del producto bruto (PB) (Ecuación 4) que es el valor monetario anual de la producción final de maíz cual sea su destino, al que se aplicó la diferencia del consumo intermedio (CI) derivado del valor monetario de las semillas, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc. utilizados durante el ciclo de producción

$$\text{Ecuación 2. } VAN = VAB - D$$

$$\text{Ecuación 3. } VAB = PB - CI$$

$$\text{Ecuación 4. } PB = (\text{Total cantidades producidas} - \text{pérdidas eventuales}) \\ (\text{precio medio de venta en el mercado local})$$

Finalmente, Uribe (2012) maneja el valor agregado neto por unidad de superficie (VAN ha⁻¹) con el que se indica la eficiencia del uso de la tierra de una UP, es decir la productividad de la tierra. En el presente estudio este indicador se obtuvo directamente, puesto que todos los cálculos están referenciados a gastos por hectárea y se denominó ingreso neto anual por unidad de producción (INAUP). A través de este indicador se comparó los diferentes agrosistemas en cuanto a sus niveles de intensificación, ya que mientras más alto es el INAUP más intensivo es el sistema de producción, según Uribe (2012) este indicador económico es el más adecuado, cuando el recurso más escaso es la tierra.

13.6.2.1. Cálculos de la dimensión socioeconómica

Para esta dimensión todos los cálculos son personalizados y están en base a los datos reportados por cada productor de la submuestra de trabajo, dados por hectárea. Para determinar el producto bruto (Cuadro 17) se consideró el promedio del precio de oportunidad del maíz que ellos reportaron que se presenta a lo largo del año para la producción total, también el precio de las semillas criollas que usan para siembra (según el productor), de lo contrario el precio de las semillas mejoradas se consideró dentro de los consumos intermedios.

Cuadro 17. Producto Bruto (PB) para cada productor característico de acuerdo al agrosistema implementado.

Sistema	Productor	Superficie (ha)	Productos	Rendimiento (Kg)	Precio (\$/Kg)	PB (\$)	
Agricultura Tradicional	06	1	Grano de maíz	2100			
			Venta	2076	3	6228	
			Semilla	24	6.5	156	
				TOTAL			6384
	21	1	Grano de maíz	6000			
			Venta	5975	3	17925	
Semilla			25	5	125		
			TOTAL			18050	
Agricultura de Conservación	01	1	Grano de maíz	8000			
			Venta	8000	3	24000	
			Semilla				
				TOTAL			24000
	04	1	Grano de maíz	5000			
			Venta	5000	2.8	14000	
Semilla							
			TOTAL			14000	
Agricultura Convencional	07	1	Grano de maíz	4000			
			Venta	3975	2.9	11527.50	
			Semilla	25	10	250	
				TOTAL			11777.50
	09	1	Grano de maíz	5000			
			Venta	4981	2.9	14444.90	
Semilla			19	12	228		
			TOTAL			14672.90	

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente para el cálculo del consumo intermedio (CI) se muestra el itinerario técnico que cada productor característico implementa a partir del cual se deduce los CI respectivos (Cuadro 18 al 29).

Cuadro 18. Itinerario técnico del agrosistema de AT implementado por el productor 06.

Actividad	Periodo de realización	Tiempo invertido (h/día/ha)	J*/ha	Productos utilizados	Cantidad	Precio unitario (\$)
Siembra	Marzo-Abril	6h	4	Semilla criolla	24Kg	6.5
1ª labor y fertilizante	Mediados de Mayo	8h	4	Urea	2 bultos de 50Kg	325
Control de hierba	Finales de Mayo		4			
2ª labor (aporque)	Principio Junio	8h	4			
Segada y amogotada (achacalar)	Octubre	2días	4			
Barbecho	Octubre	8h	4			
Pisca	Noviembre	2días	16			
Transporte cosecha	Noviembre	4días				
Transporte rastrojo y abono	Enero	20días				

Referencia: J=jornales. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 19. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 06.

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo		Total mano de obra	Total transporte de productos
				unitario (\$)	Total CI		
I. Siembra							
I.1. Mano de obra	Jornal	4	1	120		480	
I.2. Semilla (criolla)	Kg	24	1	6.5	156		
II. 1ª labor y fertilizante							
II.1. Mano de obra	Jornal	4	1	120		480	
II.2. Fertilizante	Bulto	2	1	325	650		
III. Control de hierba							
III.1. Mano de obra	Jornal	4	1	120		480	
IV. 2ª labor (aporque)							
IV.1. Mano de obra	Jornal	4	1	120		480	
V. Segada y amogotada (achacalar)							
V.1. Mano de obra	Jornal	4	2	120		960	
VI. Barbecho							
VI.1. Mano de obra	Jornal	4	1	120		480	
VII. Pisca							
VII.1. Mano de obra	Jornal	16	2	120		3840	
VII.2. Comida		1	2	200	400		
VIII. Transporte cosecha							
VIII.1. Flete	Carretada	4	4	100			1600
IX. Transporte rastrojo y abono							
IX.1. Flete	Carretada	3	20	130			7800
TOTAL					1206	7200	9400
Referencia: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.							

Cuadro 20. Itinerario técnico del agrosistema de AT implementado por el productor 21.

Actividad	Periodo de realización	Tiempo invertido (h/día/ha)	J*/ha	Productos utilizados	Cantidad	Precio unitario (\$)
Siembra	Abril	3h	3	Semilla criolla	25 Kg	5
Labrada y fertilizada	Abril		2	Urea	2 bultos de 50Kg	270
2ª y deshierbe	Mayo	3h	2			
Fumigada	Julio	2h	2	Hierbamina Gesaprim	Botella de litro	95 100
Achacalada	Octubre	1día	12			
Pisca	Noviembre	1día	12			
Desgranada	Noviembre	5h	6			
Zacateo	Diciembre	1día	6			
Barbechar	Febrero	2días	1			
Surcada	Abril	1día	1			

Referencia: J=jornales. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 21. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 21.

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
I. Siembra							
I.1. Mano de obra	Jornal	3	1	120		360	
I.2. Semilla (criolla)	Kg	25	1	5	125		
II. Labrada y fertilizada							
II.1. Mano de obra	Jornal	2	1	120		240	
II.2. Fertilizante	Bulto	2	1	270	540		

Referencia: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Continuación del Cuadro 21

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
III. 2ª y deshierbe							
III.1. Mano de obra	Jornal	2	1	120		240	
IV. Fumigada							
IV.1. Mano de obra	Jornal	2	1	120		240	
IV.2. Hierbamina	Litro	1	1	95	95		
IV.3. Gesaprim	Litro	1	1	100	100		
V. Achacalada							
V.1. Mano de obra	Jornal	12	1	120		1440	
VI. Pisca							
VI.1. Mano de obra	Jornal	12	1	120		1440	
VII. Desgranada							
VII.1. Mano de obra	Jornal	6	1	120		720	
VIII. Zacateo							
VIII.1. Mano de obra	Jornal	6	1	120		720	
IX. Barbechar							
IX.1. Renta equipo	Renta	1	2	400		800	
X. Surcada							
X.1. Renta equipo	Renta	1	1	300		300	
TOTAL					860	6500	

Referencia: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 22. Itinerario técnico del agrosistema de AC implementado por el productor 01.

Actividad	Periodo de realización	Tiempo invertido (h/día/ha)	J*/ha	Productos utilizados	Cantidad	Precio unitario (\$)
PSD a siembra	25-Abril	1h	2	Semilla XR10	Bulto de 18Kg	1400
				PSD a base de minerales	Bulto de 50Kg	120
Preemergente	30-Abril	3h	2	Glifosato	Botella de 1L	100
				Agua	Flete de 200L	60
Postemergencia	25-Mayo	3h	2	Callisto	Botella de 1L	2225
				Penetrator		130
				Gesaprim	Flete de 200L	190
				Agua		60
1er Foliar	28-Mayo	1día	2	Alzinc	Botella de 1L	110
				Algaezim		240
				Agua	Flete de 200L	60
2ª Fertilizada	30-Junio	1día	1	Ureamin	Bulto de 50Kg	260
Control de maleza por manchones	03-Julio	3h	2	Tordon 101	Botella de 1L	170
				Agua	Flete de 200L	60
2º Foliar	23-Julio	1día	2	Alzinc	Botella de 1L	110
				Algaezim	Flete de 200L	240
				Agua		60
3er foliar	23-Agosto	1día	2	Alzinc	Botella de 1L	110
				Algaezim	Flete de 200L	240
				Agua		60
Pisca y acarreo	Noviembre	1día	12			
Desgrane	Diciembre	1.5h	2			
Desvarada	enero		1			

Referencias: *=jornales. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 23. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 01.

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo	Total CI	Total	Total
				unitario (\$)		mano de obra	transporte de productos
I. PSD a siembra							
I.1. Renta equipo	Renta	1	1	700		700	
I.2. Semilla XR10	Bulto	1	1	1400			
I.3. PSD	Bulto	6	1	120	720		
II. Preemergente							
II.1. Mano de obra	Jornal	2	1	125		250	
II.2. Glifosato	Litro	1	1	100	100		
II.3. Agua	Flete	1	1	60	60		
III. Postemergente							
III.1. Mano de obra	Jornal	2	1	125		250	
III.2. Callisto	Litro	0.2	1	2225	445		
III.3. Penetrator	Litro	0.5	1	130	65		
III.4. Gesaprim	Litro	1	1	190	190		
III.5. Agua	Flete	1	1	60	60		
IV. 1er Foliar							
IV.1. Mano de obra	Jornal	2	1	125		250	
IV.2. Alzinc	Litro	2	1	110	220		
IV.3. Algaezim	Litro	2	1	240	480		
IV.4. Agua	Flete	1	1	60	60		
V. 2ª Fertilizada							
V.1. Mano de obra	Jornal	1	1	125		125	
V.2. Ureamin	Bulto	6	1	260	1560		
Referencias: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.							

Continuación del Cuadro 23

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
VI. Control de maleza por manchones							
VI.1. Mano de obra	Jornal	2	1	125		250	
VI.2. Tordon 101	Litro	0.5	1	170	85		
VI.3. Agua	Flete	0.5	1	60	30		
VII. 2º Foliar							
VII.1. Mano de obra	Jornal	2	1	125		250	
VII.2. Alzinc	Litro	2	1	110	220		
VII.3. Algaezim	Litro	2	1	240	480		
VII.4. Agua	Flete	1	1	60	60		
VIII. 3er Foliar							
VIII.1. Mano de obra	Jornal	2	1	125		250	
VIII.2. Alzinc	Litro	2	1	110	220		
VIII.3. Algaezim	Litro	2	1	240	480		
VIII.4. Agua	Flete	1	1	60	60		
IX. Pisca y acarreo							
IX.1. Mano de obra	Jornal	12	1	120		1440	
IX.2. Flete	Flete	2	1	300			600
X. Desgranada							
X.1. Renta equipo	Renta	1	1	500		500	
XI. Desvarada							
XI.1. Renta de equipo	Renta	1	1	150		150	
TOTAL					5595	4415	600

Referencias: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 24. Itinerario técnico del agrosistema de AC implementado por el productor 04.

Actividad	Periodo de realización	Tiempo invertido (h/día/ha)	J*/ha	Productos utilizados	Cantidad	Precio unitario (\$)
Siembra y fertilizada	Finales de Abril	1.25h	1	Semilla híbrido blanco o amarillo nacional	Bulto de 18Kg	1400
				Triple 16	Bulto de 50Kg	350
Control de maleza	Mayo	3h	1	Herbicida	Botella de Litro	450
				Agua	Flete de 200L	100
2ª Fertilizada	Mayo	1h	1	Nitratos de amonio	Bulto de 50Kg	300
Fertilización foliar	Julio	1h	1	Fertilizante	Botella de 1L	160
				Agua	Flete de 200L	
Cosecha	Noviembre	1h	12			
Flete	Noviembre			Flete	Por tonelada	180
Desvaradora	Abril	0.75h	1			
Reformación de camas	Mediados de Abril	2h	1			
Tratamiento de semillas	Febrero	0.25h		Bionitro	Paquete	300

Referencias: *=jornales. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 25. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 04.

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
I. Siembra y fertilizada							
I.1. Renta equipo	Renta	1	1	550		550	
I.2. Semilla híbrido blanco o amarillo nacional	Bulto	1	1	1400	1400		
I.3. Triple 16	Bulto	6	1	350	2100		
II. Control de maleza							
II.1. Mano de obra	Jornal	1	1	100		100	
II.2. Herbicida	Litro	2	1	400	800		
II.3. Agua	Flete	1	1	100	100		
III. 2ª Fertilizada							
III.1. Mano de obra	Jornal	1	1	80		80	
III.2. Nitratos de amonio	Bulto	5	1	300	1500		
IV. Fertilización foliar							
IV.1. Mano de obra	Jornal	1	1	80		80	
IV.2. Fertilizante	Litro	2	1	160	320		
IV.3. Agua	Flete	1	1	100	100		
V. Cosecha							
V.1. Renta equipo	Renta	1	1	1500		1500	
VI. Flete							
VI.1. Flete por tonelada	Flete	5	1	180			900
Referencia: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.							

Continuación del Cuadro 25

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
VII. Desvaradora							
VII.1. Renta equipo	Renta	1	1	300		300	
VIII. Reformación de camas							
VIII.1. Renta equipo	Renta	1	1	500		500	
IX. Tratamiento de semillas							
IX.1. Bionitro	Paquete	1	1	300	300		
TOTAL					6620	3110	900

Referencia: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 26. Itinerario técnico del agrosistema de ACV implementado por el productor 07.

Actividad	Periodo de realización	Tiempo invertido (h/día/ha)	J*/ha	Productos utilizados	Cantidad	Precio unitario (\$)
Siembra	Abril	2h	1	Semilla criolla blanco, amarillo o negro	1Kg	10
1ª Labor y fertilizar	Mayo	3h	3	Urea	Bulto de 50Kg	320
2ª labor	Principio Junio	3h	3			
Aporque	Finales Junio	3h	2			
Fumigada	Julio	3h	2	Hierbamina Gesaprim Agua	Botella de 1L Flete de 200L	95 130 60

Referencias: *=jornales. Fuente: elaboración propia.

Continuación del Cuadro 26

Actividad	Periodo de realización	Tiempo invertido (hr/día/ha)	J*/ha	Productos utilizados	Cantidad	Precio unitario (\$)
Segado y amogotado	Octubre	1día	10			
Rastreada	Octubre	1.5h	1			
Cosecha	Noviembre	1día	12			
Traslado	Noviembre	2días	12			
Acarreo barbecho	Noviembre	1.5h	3			
Trillada	Diciembre	0.5h	3.5			
Armial	Diciembre	2días	3			
Desmanchar	Diciembre	2días	3			
Desgranar	Diciembre	2h	5			
Abono animal	Enero-Febrero	3días	2			
Rastra	Febrero	1.5h	1			

Referencias: *=jornales. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 27. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 07.

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
I. Siembra							
I.1. Renta equipo	Renta	1	1	500		500	
I.2. Semilla criolla	Kg	25	1	10	250		
II. 1ª Labor y fertilizar							
II.1. Mano de obra	Jornal	2	1	120		240	
II.2. Renta equipo	Renta	1	1	350		350	
II.3. Urea	Bulto	7	1	320	2240		
III. 2ª Labor							
III.1. Mano de obra	Jornal	2	1	120		120	
III.2. Renta equipo	Renta	1	1	350		350	

Referencia: Ctn=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Continuación del Cuadro 27

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
IV. Aporque							
IV.1. Mano de obra	Jornal	1	1	120		120	
IV.2. Renta equipo	Renta	1	1	350		350	
V. Fumigada							
V.1. Mano de obra	Jornal	2	1	120		240	
V.2. Agua	Flete	0.4	1	60	24		
VI. Segado y amogotado							
VI.1. Mano de obra	Jornal	10	1	120		1200	
VI.2. Comida	Comida	1	1	200	200		
VII. Rastreada							
VII.1. Renta equipo	Renta	1	1	350		350	
VIII. Cosecha							
VIII.1. Mano de obra	Jornal	12	1	120		1440	
VIII.2. Comida	Comida	1	1	300	300		
IX. Traslado							
IX.1. Mano de obra	Jornal	12	2	120		2880	
IX.2. Flete	Flete	2	2	350			1400
X. Acarreo barbecho							
X.1. Mano de obra	Jornal	3	1	120		360	
X.2. Flete	Flete	3	1	350			1050
XI. Trillada							
XI.1. Mano de obra	Jornal	2.5	1	120		300	
XI.2. Renta de equipo	Renta	1	1	200		200	
XII. Armial							
XII.1. Mano de obra	Jornal	3	2	120		720	
XIII. Desmanchar							
XIII.1. Mano de obra	Jornal	3	2	120		720	

Referencia: Ctn=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Continuación del Cuadro 27

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
XIV. Desgranar							
XIV.1. Mano de obra	Jornal	5	1	120		600	
XV. Abono animal							
XV.1. Mano de obra	Jornal	2	3	120		720	
XV.2. Flete	Flete	2	3	350			2100
XVI. Rastra							
XVI.1. Renta equipo	Renta	1	1	350		350	
TOTAL					3014	11390	4550

Referencia: Ctn=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 28. Itinerario técnico del agrosistema de ACV implementado por el productor 09.

Actividad	Periodo de realización	Tiempo invertido (h/día/ha)	J*/ha	Productos utilizados	Cantidad	Precio unitario (\$)
Siembra	Abril	2h	2	Semilla criolla blanco o rojo	1kg	12
Escarda y fertilizante	Mayo	8h	3	Fórmula 20-10-10	Bulto de 50kg	330
2ª (aporque)	Junio	2h	1			
Herbicida	Julio	1h	2	Desmonte	Botella de 1L	90
				Agua	Flete de 200L	100
Segado y amogotado	Octubre	1día	7			
1ª Rastra	Octubre	1.5h	1			
Pisca y acarreo de cosecha	Noviembre	3días	10			
Limpiar maíz	Diciembre	5.5días	3			
2ª Rastra	Enero	1.5h	1			

Referencia: J=jornal. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 29. Cálculo del consumo intermedio (CI) para el productor 09.

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
I. Siembra							
I.1. Renta equipo	Renta	1	1	750		750	
I.2. Semilla criolla	Kg	19	1	12	228		
II. Escarda y fertilizante							
II.1. Mano de obra	Jornal	2	1	120		240	
II.2. Renta equipo	Renta	1	1	300		300	
II.3. Urea	Bulto	10	1	330	3300		
III. 2ª (aporque)							
III.1. Mano de obra	Jornal	1	1	120		120	
III.2. Renta equipo	Renta	1	1	300		300	
IV. Herbicida							
IV.1. Mano de obra	Jornal	2	1	100		200	
IV.2. Desmonte	Litro	1	1	90	90		
IV.3. Agua		1	1	100	100		
V. Segado y amogotado							
V.1. Mano de obra	Jornal	7	1	120		840	
VI. 1ª Rastra							
VI.1. Renta equipo	Renta	1	1	300		300	
VII. Pisca y acarreo de cosecha							
VII.1. Mano de obra	Jornal	10	3	120		3600	
VII.2. Flete	Flete	1	3	300			900
VII.3. Comida	Comida	1	3	500	1500		

Referencia: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Continuación del Cuadro 29

Actividad	Unidades	Cnt/día	Días	Costo unitario (\$)	Total CI	Total mano de obra	Total transporte de productos
VIII. Limpiar maíz							
VIII.1. Mano de obra	Jornal	3	6.5	100		1950	
VIII.2. Comida	Comida	1	6.5	400	2600		
IX. 2ª Rastra							
IX.1. Renta equipo	Renta	1	1	300		300	
TOTAL					7818	8900	900

Referencia: Cnt=cantidad. Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenido los CI respectivos, se calculó el valor agregado bruto (VAB) de cada productor característico (Cuadro 30). Al cual posteriormente se le resta la depreciación (D) respectiva (Cuadro 31) para obtener el valor agregado neto (Cuadro 32).

Cuadro 30. VAB de cada productor característico de acuerdo al agrosistema implementado.

Sistema	Productor	PB	CI	VAB
Agricultura	06	6384	1206	5178
Tradicional	21	18050	860	17190
Agricultura de	01	24000	5595	18405
Conservación	04	14000	6620	7380
Agricultura	07	11777.50	3014	8763.5
Convencional	09	14672.90	7818	6854

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 31. Depreciación anual de materiales y equipo por productor en cada tipo de agrosistema.

Sistema	Productor	Equipo y materiales	Unidades	Precio unitario (\$)	Valor actual (\$)	Vida útil (años)	Depreciación anual (\$)	
Agricultura Tradicional	06	Machete	2	90	180	2	32	
		Arado	1	1000	1000	10	90	
		Reja	1	200	200	10	18	
		Pala	2	140	280	3	50	
		Bestia	2	12000	24000	22.5	1992	
			TOTAL					2182
	de	21	Mochila	1	680	680	8	77
			Machete	2	90	180	2	32
			Pala	2	140	280	3	50
			Azadón	1	300	300	2	150
Cultivadora			1	500	500	10	45	
Arado			1	3000	3000	10	270	
Bestia			2	12000	24000	22.5	1992	
		TOTAL					2616	
Agricultura Conservación	01	Mochila	1	680	680	8	77	
		Machete	2	90	180	2	32	
			TOTAL					109
	04	Mochila	1	680	680	8	77	
Machete		2	90	180	2	32		
		TOTAL					109	
Agricultura Convencional	07	Brazo	1	900	900	10	81	
		Marcador	1	600	600	10	54	
		Mochila	1	680	680	8	77	
		Machete	2	90	180	2	32	
				TOTAL				
09	Mochila	Mochila	1	680	680	8	77	
		Machete	2	90	180	2	32	
			TOTAL					109

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 32. Cálculo del valor agregado neto (VAN) por productor en cada tipo de agrosistema.

Sistema	Productor	VAB (\$)	D (\$)	VAN (\$)
Agricultura	06	5178	2182	2996
Tradicional	21	17190	2616	14574
Agricultura de	01	18405	109	18296
Conservación	04	7380	109	7271
Agricultura	07	8763.5	244	8519.5
Convencional	09	6854	109	6745

Fuente: elaboración propia.

Para conocer el ingreso que obtiene cada unidad de producción finalmente se le resta el costo de transporte del producto (CTP). Pero debido a que no se tiene reportado ingresos extras ya sea por apoyo de gobierno, renta de tierra o remesas, no se calculó lo que Uribe (2012) llama el ingreso familiar total. Así pues, del resto del VAN una vez deducidos todos los elementos, se aprecia la riqueza con la que puede contar la unidad de producción durante el año (INAUP) por cada hectárea con su sistema productivo de maíz (Cuadro 33).

Cuadro 33. Cálculo del ingreso neto anual por unidad de producción (INAUP) por productor en cada tipo de agrosistema.

Sistema	Productor	VAN (\$)	GTP (\$)	INAUP (\$)
Agricultura	06	2996	9400	<u>-6404</u>
Tradicional	21	14574	0	14574
Agricultura de	01	18296	600	17696
Conservación	04	7271	900	6371
Agricultura	07	8519.5	4550	3969.5
Convencional	09	6745	900	5845

Referencia: subrayado indica pérdida. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para calcular el NRS se determinó la LB y LBM anual para poder compararlo con el INAUP. Tomando en cuenta que al menos son tres los integrantes de la familia que dependen del SPM.

Valor de bienestar por persona en áreas rurales

No. De miembros por familia = 3

Gasto mensual = $3 \times \$1,676.92 = \$5,030.76$

Gasto anual = $\$5,030.76 \times 12 = \$60,369.12$

LB = $\$60,369.12$

Valor de bienestar mínimo por persona en áreas rurales

Gasto mensual = $\$907.22 \times 3 = \$2,721.66$

Gasto anual = $\$2,721.66 \times 12 = \$32,659.92$

LBM = $\$32,659.92$

13.7. Análisis estadístico

Toda la información adquirida a través de las entrevistas semiestructuradas fue capturada en una base de datos en Excel® y analizada con el programa STATGRAPHICS Centurion XVI® versión 16.1.02 (32-bits). Así para el caso del IMA se desarrolló una base de datos en la que se capturó la calificación que obtuvieron los productores característicos en cada factor conforme a la escala propuesta (Cuadro 12). Para calcular el IMA (Ecuación 7) se determinó la media aritmética de los valores que cada productor obtuvo en los subindicadores del MIN y del MIS (Ecuación 5 y 6, respectivamente), finalmente se determinó la media aritmética de los valores obtenidos del MIN, MIS, MIA y MIPE. También se realizó un análisis de componentes principales a todos los subindicadores de IMA.

$$\text{Ecuación 5. } MIN_x = \frac{(USO_{EST} + TIPO_{FERT} + MJO_{RSDO})}{3}$$

$$\text{Ecuación 6. } MIS_x = \frac{(GDO_{TEC} + INT_{CULT} + INT_{USO} + LBS_{SOIL} + USO_{TRAC} + USO_{YUNT} + CONS_{SOIL} + CTRL_{ERO})}{8}$$

$$\text{Ecuación 7. } IMA_x = \frac{(MIN + MIS + MIA + MIPE)}{4}$$

Para el análisis del ISA, en cada monolito se determinó el valor respectivo para cada factor de las propiedades químicas del suelo (ISA_{Amb-Q}) dentro de la escala propuesta (Cuadro 14), se aplicó una media aritmética (Ecuación 8) y posteriormente se agregaron en un valor final por cada productor a través de la media aritmética de los valores adquiridos por los monolitos respectivos (Ecuación 9). Donde x es el número que identifica a cada productor y w es el número que identifica a cada monolito. Además, las calificaciones del IMA e ISA_{Amb-Q} fueron tratadas mediante un análisis clúster de vínculo completo para el que se eligió la euclidiana cuadrada como medida de distancia.

Ecuación 8.

$$ISAxw_{Amb-Q} = \frac{PH + MO + N + P + K + CIC + CE}{7}$$

Ecuación 9.

$$ISAx_{Amb-Q} = \frac{\sum_1^3 ISAw_{Amb-Q}}{3}$$

Así mismo los datos reportados para pH, MO, N, P, K, CIC, CE, DA, VPC, hojarasca, humedad del suelo, textura y abundancia, biomasa y diversidad de la macrofauna, fueron tratados a través del análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño bifactorial (Manejo y Sitio) completamente al azar, con 95% de confiabilidad. Se realizó un análisis de componentes principales por separado para las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, además de su conjunto, a partir de los cuales se eligieron las componentes principales con eigenvalores mayores a 1 para representar la mayor variabilidad de los datos.

XIV. Resultados y discusión

14.1. Aspectos generales

Los productores se caracterizan por ser una población madura con edad promedio de 58 años, poseen bajo grado de escolaridad, el cual disminuye conforme aumenta la edad. Debido a que los datos de superficie no presentan una distribución normal, se sabe que la mediana es de 5 ha por productor donde 47.6% están por debajo de esta superficie, y 28.5% por arriba. La tierra de cultivo es de temporal y a pesar que siembran en monocultivo, realizan rotación. De los cultivos que aprovechan en primer lugar se encuentra el maíz (*Zea mays*) seguido de cebada (*Hordeum vulgare*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), trigo (*Triticum vulgare*), haba (*Vicia faba*) y ayocote (*Phaseolus coccineus*). De acuerdo con el SIAP (2014) el rendimiento promedio de maíz bajo temporal para el municipio de San Salvador el Seco (donde se encuentran los productores participantes) es de 2.4 t ha⁻¹, de modo que 19% de los productores en este estudio están por debajo de ese rendimiento, 57% dentro de 2.4-5 t ha⁻¹ y 24% presenta mayor rendimiento a 5 t ha⁻¹. Respecto a los problemas en el suelo, los productores reportan que éstos se presentan principalmente en las zonas de laderas, de modo que los productores que tienen parcelas en zonas planas podrían estar omitiendo los problemas ocasionados por la erosión eólica a menos que vean bajas en los rendimientos de producción, puesto que en las zonas de ladera los principales problemas son las cárcavas (erosión hídrica), así mismo la práctica más común de conservación de suelo es a través de cortinas rompeviento, aunque estas se encuentran principalmente en las zonas de ladera.

14.2. Evaluación del manejo del agroecosistema

El estado de los recursos del agroecosistema, no es resultado de un solo tipo de manejo realizado en él, sino de la interacción de cada tipo de manejo realizado en cada parcela por el productor. De modo que, debido a que se analizó el manejo de una población representativa del ejido de Paso del Puente de Santa Ana, se encontraron prácticas que tienen en común los productores, pero también algunas que los diferencian. Por lo que en este apartado se aborda en primera instancia el gradiente de tipología de manejos que se encontró y enseguida el manejo del agroecosistema en general.

14.2.1. Gradiente del manejo del agroecosistema

De acuerdo con las calificaciones del IMA que obtuvieron los productores (Cuadro 34) la mayor calificación obtenida fue de 3.37 que corresponde a los productores 01 y 04 pertenecientes a la agricultura de conservación (AC), por el contrario, la menor calificación fue de 1.72 que corresponde al productor 20. En cuanto a los productores característicos, los de agricultura convencional (ACV) obtuvieron una calificación intermedia con 3.03 y 3.02 para el productor 09 y 07 (respectivamente), seguidos de los de agricultura tradicional (AT) con 2.94 y 2.80 para el productor 06 y 21 (respectivamente) (Cuadro 35). Se encontraron prácticas que benefician al agroecosistema como generar el mulch, agregar estiércol, labranza mínima y control de sombra, no obstante, también se encontraron prácticas que tienen efectos contraproducentes como la aplicación de fertilizantes y herbicidas, así como el excesivo laboreo que realizan ciertos productores (Cuadro 35 al 41) (Juárez *et al.*, 2009, Cuadro 6, p. 48; Bahena *et al.*, 2009, pp. 135-152). La mayor calificación para los productores de AC, se debe a que realizan varias de las anteriores prácticas benéficas, sin embargo, usan agroquímicos (MIPE) y no usan estiércol (USO_{EST} , $TIPO_{FERT}$), de modo que esto último no permite que AC pueda considerarse un manejo completamente sustentable. Por otra parte, se esperaba que los productores característicos de AT obtuvieran mejor calificación que los de ACV, sin embargo, se encontró que estos últimos mantienen cierto nivel de rastrojo (MJO_{RSDO} , $CONSSOIL$, $CTRLERO$, MIA) lo que les confirió mejor calificación, a pesar que no agregan

estiércol como los de AT (USO_{EST} , $TIPO_{FERT}$) y que son los que más labores realizan en el suelo (LBS_{SOIL}) (Cuadro 35, Figura 3).

Cuadro 34. Calificaciones de IMA de cada productor.

Productor	IMA	Productor	IMA	Productor	IMA
01	3.37	08	2.38	15	2.77
02	2.08	09	3.03	16	3.23
03	2.44	10	1.85	17	2.82
04	3.37	11	2.03	18	2.61
05	2.08	12	2.83	19	2.37
06	2.94	13	2.42	20	<u>1.72</u>
07	3.02	14	3.16	21	2.80

Referencia: negrita indica las calificaciones más altas, subrayado indica la menor calificación. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 35. Calificación de los productores característicos en IMA.

Indicador	Cat		MIN		MIS										
	USO _{EST}	TIPO _{FERT}	MJO _{RSDO}	GDO _{TEC}	INT _{CULT}	INT _{USO}	LBS _{SOIL}	USO _{TRAC}	USO _{YUNT}	CONS _{SOIL}	CTRL _{ERO}	MIA	MIPE	IMA	
01	1	2.5	5	5	5	3	5	4.26	5	5	5	5	1	3.37	
04	1	2.5	5	5	5	5	5	4.26	5	5	3	5	1	3.37	
07	2	3.75	4.15	2	1	3.75	0.83	0.71	5	5	4	5	1	3.02	
09	1	2.5	5	2	4.5	3.75	1.66	1.42	5	5	3	5	1	3.03	
06	2	3.75	2.49	4	5	3.75	3.32	5	2	3.75	2	2.5	2.9	2.94	
21	2	3.75	2.49	4	2.5	5	3.32	5	2	3.75	2	2.5	2.5	2.80	

Referencia: Cat=Categoría. Fuente: elaboración propia.

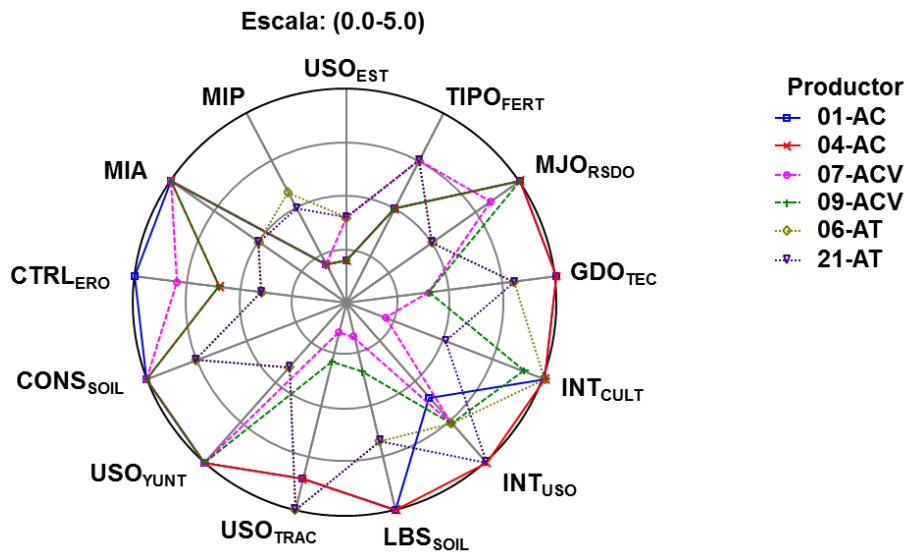


Figura 3. Gráfica de telaraña de las calificaciones del IMA de los productores característicos.

Con base en el análisis de componentes principales (ACP) aplicado a las calificaciones de IMA, se descartó la variable USO_{EST} debido a que provocaba error, no obstante, está implícita en la variable TIPO_{FERT}, con esto, se determinó 65.23% de la variabilidad de los datos (Cuadro 36). De acuerdo a este análisis, valores altos de la componente 1, indican un adecuado tipo de fertilizante y mayor uso de yunta, pero un inadecuado manejo de residuos (rastraje), mala conservación del suelo, mal control de la erosión y mal control de la evapotranspiración; de modo que valores bajos en esta componente indican lo contrario. Por otra parte, valores altos en la componente 2 indica un mayor uso de herramientas manuales, que realiza pocas labores en suelo, bajo uso de tractor, adecuadas densidades de siembra y adecuada rotación de cultivos; en cambio valores bajos indica lo contrario. Con base en lo anterior, se encontró un gradiente de tipologías donde el mejor manejo corresponde a los productores del grupo A en el cuadrante II, seguidos de los productores del grupo B en el cuadrante III, posteriormente los productores del grupo C en el cuadrante I y finalmente los productores del grupo D y E en el cuadrante IV (Figura 4).

Cuadro 36. Ponderaciones en las componentes principales de los indicadores y subindicadores de IMA después del ACP.

		Componentes principales			
		CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores		4.78	3.05	1.29	1.02
Porcentaje de varianza		39.85	25.38	10.76	8.49
		Ponderación del indicador o subindicador en la CP			
MIN	TIPO _{FERT}	0.34	0.03	-0.48	-0.06
	MJO _{RSDO}	-0.34	0.21	-0.22	-0.29
MIS	GDO _{TEC}	0.09	0.53	0.04	-0.19
	INT _{CULT}	-0.01	0.29	0.63	0.16
	INT _{USO}	-0.11	0.15	-0.04	0.82
	LBS _{SOIL}	-0.06	0.51	0.09	-0.10
	USO _{TRAC}	0.24	0.48	-0.05	-0.05
	USO _{YUNT}	-0.40	-0.13	0.17	-0.03
	CONS _{SOIL}	-0.39	0.13	-0.18	0.25
	CTRL _{LERO}	-0.39	0.14	-0.21	-0.05
MIA		-0.42	0.09	-0.24	-0.07
MIPE		0.22	0.17	-0.38	0.32

Referencia: CP=componente principal. Fuente: elaboración propia.

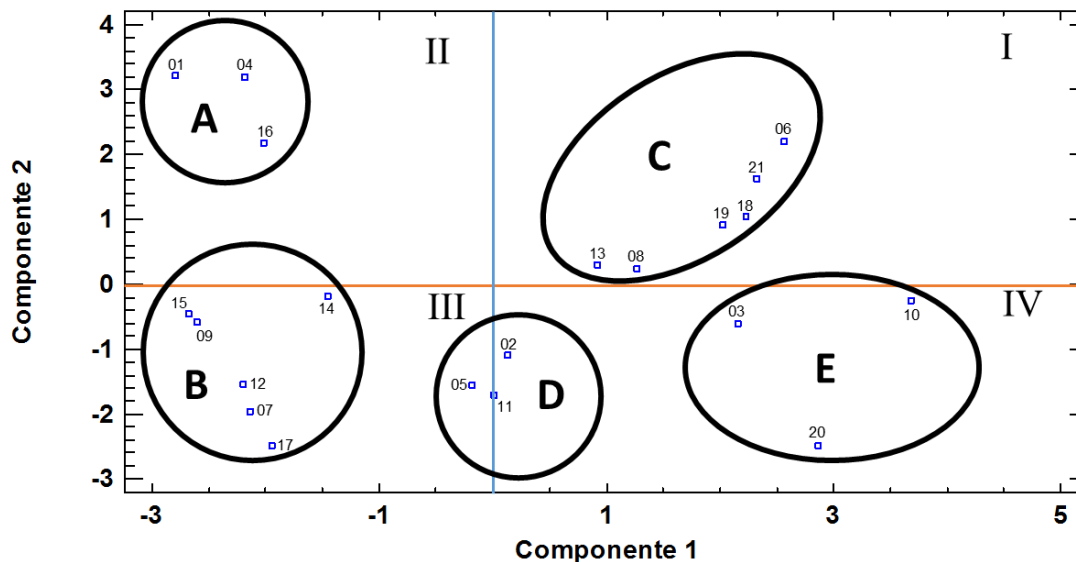


Figura 4. Diagrama de dispersión del análisis de componentes principales de IMA.

Se aprecia cómo el orden de los grupos derivados del ACP coincide con la calificación que obtuvieron del IMA, en orden descendente (Figura 4, Cuadro 37). Además, de acuerdo con el análisis clúster realizado a todas las variables de IMA (Figura 5) se aprecia que si se mantiene la variable USO_{EST} provoca que se agrupen los que sólo utilizan fertilizantes sintéticos (del 17 a la izquierda) y los que combinan estiércol y fertilizantes sintéticos (del 7 a la derecha). De modo que exceptuando la variable USO_{EST} (Figura 6), el análisis clúster muestra cinco subgrupos a una distancia de 20, donde se diferencia claramente los productores del grupo A que son los únicos que practican AC, así mismo reúne a los productores 07 y 09 que se tomaron como característicos de ACV en el grupo B y los productores 06 y 21 de AT en el grupo C con otros que presentan características similares, además reúne a los mismos productores de los grupos D y E encontrados con el ACP. Se observa sobre el eje de las abscisas que los grupos conforme se alejan del origen, coincide con el orden descendente de calificaciones del IMA que presentan las agrupaciones resultantes del ACP, excepto los grupos C y D, esto debido a que el grupo C presenta más similitud al grupo E al coincidir en los valores de USO_{EST}, TIPO_{FERT}, MJO_{RSDO} y USO_{YUNT} (Cuadro 37). Además, a una distancia de 45 separa en el grupo W a los productores que dejan todo o al menos una parte del rastrojo y en el grupo Z a los productores que retiran todo el rastrojo pero que algunos

reincorporan como estiércol o no. Así mismo, el orden que presentan los productores característicos de izquierda a derecha, coincide con el orden que adquieren sus calificaciones de mayor a menor, excepto los productores 07 y 09 debido a las calificaciones de los productores que los acompañan a pesar de su similitud; también el orden descendente de las calificaciones del IMA de todos los productores sólo coincide con los productores 01, 10 y 20 (Cuadro 34), esto debido a que los ordena conforme a similitudes y el promedio de las calificaciones del IMA de los tres productores. Con base en lo anterior, se describe las características de las tipologías encontradas: el grupo A considerado de AC, el grupo B de ACV, el grupo C de AT, el grupo D como transición a ACV y el grupo E como transición a AT.

Cuadro 37. Concentrado de calificaciones promedio del IMA para cada grupo derivado del análisis de componentes principales.

Indicador	MIN			MIS										
	USO _{EST}	TIPO _{FERT}	MJO _{RSDO}	GDO _{TEC}	INT _{CULT}	INT _{USO}	LBS _{SOIL}	USO _{TRAC}	USO _{YUNT}	CONS _{SOIL}	CTRL _{ERO}	MIA	MIPE	IMA
A	1	2.5	5	5	4.83	3.5	4.72	4.02	5	5	3.66	5	1	3.32
B	1.33	2.92	4.16	1.83	3.08	3.5	1.52	1.30	5	5	3.33	4.79	1.08	2.94
C	2	3.75	2.49	3.66	4.08	4.08	2.76	4.27	2.33	3.75	2	2.5	1.73	2.59
D	1	2.5	1.66	2	4.5	3.5	1.94	1.65	5	3.75	2	2.5	1	2.06
E	2	3.75	2.49	3	3.33	1.66	1.38	3.08	2.33	2.08	1.33	1.66	1.33	2
\bar{X}	1.47	3.08	3.16	3.09	3.96	3.25	2.46	2.86	3.93	3.92	2.46	3.29	1.23	2.58

Referencia: Cat=Categoría, \bar{X} =media aritmética. Fuente: elaboración propia.

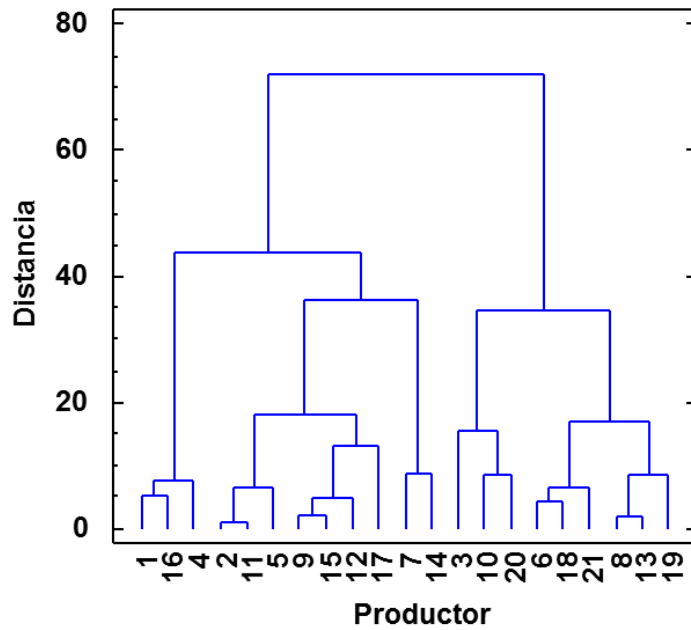


Figura 5. Dendrograma de todas las variables del IMA por productor.

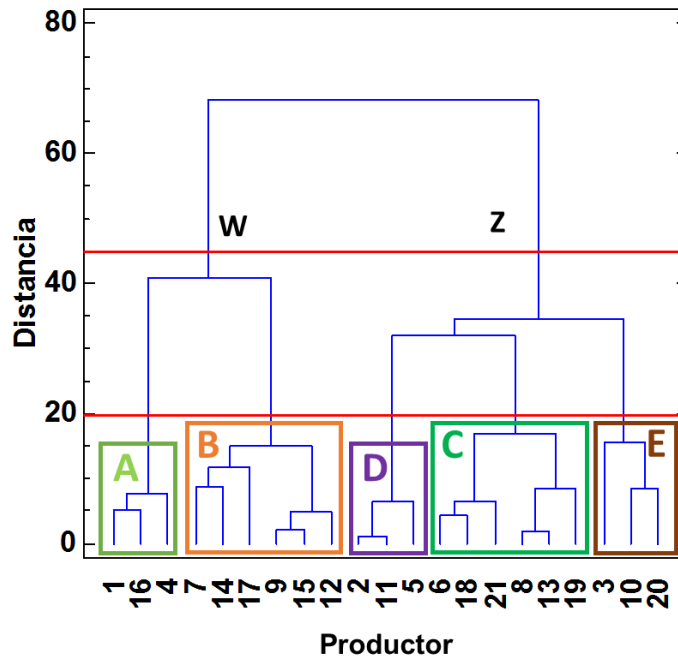


Figura 6. Dendrograma sin la variable USO_{EST} de IMA por productor.

Grupo A: agricultura de conservación

Los productores del grupo A presentaron un manejo que promueve la conservación del suelo a través de mantener el 100% de los residuos ($MJO_{RSO}=5$) y en promedio realizan 1.3 labores en el suelo ($LBS_{SOIL}=4.72$) que ayuda a controlar la erosión y evapotranspiración aunque sólo el productor 01, además de esto, implementa terrazas y barreras vivas ($CONS_{SOIL}=5$, $CTRL_{ERO}=3.66$, $MIA=5$), la rotación que hacen varía ya sea sólo gramínea, leguminosa o ambas ($INT_{USO}=3.5$) y siembran una densidad óptima de maíz entre 47,222 y 62,500 plantas ha^{-1} ($INT_{CULT}=4.83$), no obstante, usan exclusivamente tractor ($GDO_{TEC}=5$, $USO_{TRAC}=4.02$, $USO_{YUNT}=5$), fertilizantes y herbicidas sintéticos ($TIPO_{FERT}=2.5$, $USO_{EST}=1$, $MIPE=1$) (Cuadro 36).

Cuadro 38. Calificaciones del IMA para el grupo A.

Indicador	MIN			MIS										
	USO_{EST}	$TIPO_{FERT}$	MJO_{RSO}	GDO_{TEC}	INT_{CULT}	INT_{USO}	LBS_{SOIL}	USO_{TRAC}	USO_{YUNT}	$CONS_{SOIL}$	$CTRL_{ERO}$	MIA	$MIPE$	IMA
01	1	2.5	5	5	5	3	5	4.26	5	5	5	5	1	3.37
04	1	2.5	5	5	5	5	5	4.26	5	5	3	5	1	3.37
16	1	2.5	5	5	4.5	2.5	4.15	3.55	5	5	3	5	1	3.23
\bar{X}	1	2.5	5	5	4.83	3.5	4.72	4.02	5	5	3.66	5	1	3.32

Referencia: Cat=Categoría, \bar{X} =media aritmética. Fuente: elaboración propia.

Grupo B: agricultura convencional

Los productores del grupo B presentaron un manejo del rastrojo que varía ($MJO_{RSO}=4.16$) ya sea que dejen todo (productor 09 y 15) o que dejen al menos una parte de los residuos y el resto lo utilicen para alimento de ganado que luego algunos reincorporan como estiércol (productor 07 y 14) o no (productor 12 y 17), en promedio realizan 5.2 labores en el suelo ($LBS_{SOIL}=1.52$), a pesar que todos presentan el mulch, sólo los productores 07 y 15 poseen barreras vivas ($CONS_{SOIL}=5$, $CTRL_{ERO}=3.33$, $MIA=4.79$), hacen rotación tanto con gramíneas como leguminosas ($INT_{USO}=3.5$) y la

densidad de siembra varía entre 50,370 y 126,866 plantas ha⁻¹ (INT_{CULT} =3.08), sin embargo, utilizan principalmente tractor y pocas herramientas manuales (GDO_{TEC}=1.83, USO_{TRAC}=1.30, USO_{YUNT}=5), todos utilizan fertilizantes sintéticos aunque algunos también orgánica (TIPO_{FERT}=2.92, USO_{EST}=1.33) y herbicidas sintéticos (MIPE=1.08) (Cuadro 39).

Cuadro 39. Calificaciones del IMA para el grupo B.

Indicador	MIN			MIS										
	USO _{EST}	TIPO _{FERT}	MJO _{RSDO}	GDO _{TEC}	INT _{CULT}	INT _{USO}	LBS _{SOIL}	USO _{TRAC}	USO _{YUNT}	CONS _{SOIL}	CTRL _{ERO}	MIA	MIPE	IMA
07	2	3.75	4.15	2	1	3.75	0.83	0.71	5	5	4	5	1	3.02
09	1	2.5	5	2	4.5	3.75	1.66	1.42	5	5	3	5	1	3.03
12	1	2.5	3.32	2	4	3.75	0.83	0.71	5	5	3	5	1	2.83
14	2	3.75	4.15	2	2.5	3	3.32	2.84	5	5	3	5	1	3.16
15	1	2.5	5	2	4.5	4.25	1.66	1.42	5	5	4	3.75	1	2.77
17	1	2.5	3.32	1	2	2.5	0.83	0.71	5	5	3	5	1.5	2.82
\bar{X}	1.33	2.92	4.16	1.83	3.08	3.5	1.52	1.30	5	5	3.33	4.79	1.08	2.94

Referencia: Cat=Categoría, \bar{X} =media aritmética. Fuente: elaboración propia.

Grupo C: agricultura tradicional

Los productores del grupo C retiran todo el residuo pero lo reincorporan como estiércol (MJO_{RSO}=2.49, USO_{EST}=2), en promedio realizan 3.6 labores en el suelo (LBS_{SOIL}=2.76) donde tienden a utilizar más la yunta y herramientas manuales aunque algunos utilizan tractor (GDO_{TEC}=3.66, USO_{YUNT}=2.33, USO_{TRAC}=4.27), todos poseen barreras vivas (CONS_{SOIL}=3.75, CTRL_{ERO}=2, MIA=2.5), hacen rotación principalmente con leguminosas aunque algunos con gramínea (INT_{USO}=4.08), presentan densidades de siembra que varía entre 43,590 y 106,250 plantas ha⁻¹ (INT_{CULT} =4.08), algunos no aplican herbicidas sintéticos y realizan manualmente el control de arvenses, sin embargo, la mayoría hace una combinación de estas prácticas (MIPE=1.73) y utilizan fertilizantes sintéticos (TIPO_{FERT}=3.75) (Cuadro 40).

Cuadro 40. Calificaciones del IMA para el grupo C.

Indicador	Cat		MIS												
	MIN		USO _{EST}	TIPO _{FERT}	MJO _{RSDO}	GDO _{TEC}	INT _{CULT}	INT _{USO}	LBS _{SOIL}	USO _{TRAC}	USO _{YUNT}	CONS _{SOIL}	CTRL _{ERO}	MIA	MIPE
06		2	3.75	2.49	4	5	3.75	3.32	5	2	3.75	2	2.5	2.9	2.94
08		2	3.75	2.49	3	4.5	4	2.49	3.55	3	3.75	2	2.5	1	2.38
13		2	3.75	2.49	3	3.5	4.5	3.32	3.55	4	3.75	2	2.5	1	2.42
18		2	3.75	2.49	4	4	3	2.49	4.26	2	3.75	2	2.5	2	2.61
19		2	3.75	2.49	4	5	4.25	1.66	4.26	1	3.75	2	2.5	1	2.37
21		2	3.75	2.49	4	2.5	5	3.32	5	2	3.75	2	2.5	2.5	2.80
\bar{X}		2	3.75	2.49	3.66	4.08	4.08	2.76	4.27	2.33	3.75	2	2.5	1.73	2.59

Referencia: Cat=Categoría, \bar{X} =media aritmética. Fuente: elaboración propia.

Grupo D: transición a agricultura convencional

Los productores del grupo D presentan un promedio del IMA=2.06 que extraen todos los residuos y no los reincorporan ($MJO_{RSO}=1.66$), en promedio realizan 4.3 labores en el suelo ($LBS_{SOIL}=1.94$), utilizan tractor y herramientas manuales ($GDO_{TEC}=2$, $USO_{TRAC}=1.65$, $USO_{YUNT}=5$) y sólo aplican fertilizante y herbicidas sintéticos ($TIPO_{FERT}=2.5$, $USO_{EST}=1$, $MIPE=1$), no obstante, todos poseen barreras vivas ($CONS_{SOIL}=3.75$, $CTRL_{ERO}=2$, $MIA=2.5$), hacen rotación tanto con gramíneas como leguminosas ($INT_{USO}=3.5$) y presentan bajas densidades de siembra entre 35,417 y 62,500 plantas ha^{-1} ($INT_{CULT}=4.5$) (Cuadro 41).

Cuadro 41. Calificaciones del IMA para el grupo D.

Indicador	MIN			MIS										
	USO _{EST}	TIPO _{FERT}	MJO _{RSDO}	GDO _{TEC}	INT _{CULT}	INT _{USO}	LBS _{SOIL}	USO _{TRAC}	USO _{YUNT}	CONS _{SOIL}	CTRL _{ERO}	MIA	MIPE	IMA
02	1	2.5	1.66	2	5	2.5	2.49	2.13	5	3.75	2	2.5	1	2.08
05	1	2.5	1.66	2	4	5	1.66	1.42	5	3.75	2	2.5	1	2.08
11	1	2.5	1.66	2	4.5	3	1.66	1.42	5	3.75	2	2.5	1	2.03
\bar{X}	1	2.5	1.66	2	4.5	3.5	1.94	1.65	5	3.75	2	2.5	1	2.06

Referencia: Cat=Categoría, \bar{X} =media aritmética. Fuente: elaboración propia.

Grupo E: transición a agricultura tradicional

Finalmente los productores del grupo E presentan un promedio del IMA=2 que retiran todo el rastrojo aunque lo reintegran como estiércol ($MJO_{RSO}=2.49$, $USO_{EST}=2$), en promedio realizan 5.3 labores en el suelo ($LBS_{SOIL}=1.38$) donde tienden a utilizar más tractor y herramientas manuales que yunta ($GDO_{TEC}=3$, $USO_{TRAC}=3.08$, $USO_{YUNT}=2.33$), sólo el productor 03 posee barreras vivas ($CONS_{SOIL}=2.08$, $CTRL_{ERO}=1.33$, $MIA=1.66$), sólo el productor 20 hace rotación con gramíneas ($INT_{USO}=1.66$), presentan una densidad de siembra que varía entre 53,968 y 103,030 plantas ha^{-1} ($INT_{CULT} = 3.33$), utilizan principalmente herbicidas sintéticos aunque el productor 03 a veces realiza el control de arvenses manualmente ($MIPE=1.33$) y todos utilizan fertilizantes sintéticos ($TIPO_{FERT}=3.75$) (Cuadro 42).

Cuadro 42. Calificaciones del IMA para el grupo E.

Indicador	MIN			MIS										
	USO _{EST}	TIPO _{FERT}	MJO _{RSDO}	GDO _{TEC}	INT _{CULT}	INT _{USO}	LBS _{SOIL}	USO _{TRAC}	USO _{YUNT}	CONS _{SOIL}	CTRL _{ERO}	MIA	MIPE	IMA
03	2	3.75	2.49	3	4.5	1.25	0.83	2.84	2	3.75	2	2.5	2	2.44
10	2	3.75	2.49	4	3	1.25	2.49	4.26	2	1.25	1	1.25	1	1.85
20	2	3.75	2.49	2	2.5	2.5	0.83	2.13	3	1.25	1	1.25	1	1.72
\bar{X}	2	3.75	2.49	3	3.33	1.66	1.38	3.08	2.33	2.08	1.33	1.66	1.33	2

Referencia: Cat=Categoría, \bar{X} =media aritmética. Fuente: elaboración propia.

14.2.1. Manejo del agroecosistema

Con base en los Cuadros 37 al 42 y la Figura 7 se aprecia que para el manejo de residuos (MJO_{RSDO}), si bien los productores que participaron no queman el rastrojo, 57% de ellos deja desnudo al suelo exponiéndolo a la erosión tanto eólica como hídrica, 19% deja una parte y 24% dejan todo; este está estrechamente vinculado con animales que lo consuman, puesto que 76% de los productores los aprovechan, pero de ellos 23.75% no lo reincorpora en forma de estiércol, así que el resto de los productores que dejan el rastrojo en su terreno se debe a que no poseen ganado ni usan yunta. De los productores que aprovechan el estiércol, su uso (USO_{EST}) es sin ningún tratamiento que lo enriquezca o ayude a eliminar patógenos. A pesar que muchos utilizan el rastrojo, 62% poseen barreras vivas que contribuyen a disminuir la evapotranspiración y ayudan a evitar la erosión eólica, de estos 9.54% combinan esta práctica con el mulch y 4.77% además tiene terrazas (CONS_{SOIL}, CTRL_{ERO}, MIA). En cuanto al cultivo de maíz, tomando en cuenta la recomendación del INIFAP (2007b) para la densidad de siembra (INT_{CULT}) para el distrito de desarrollo rural de Libres donde está ubicado el ejido, se encontró que 24% de los productores están dentro del rango adecuado de 50-70 mil plantas ha⁻¹, 5% por debajo de la recomendación, 43% entre 70-100 mil plantas ha⁻¹ y 28% por arriba de las 100 mil plantas ha⁻¹, no obstante, 90% de ellos realizan rotación de cultivo (INT_{USO}) cada 2 o 3 años como forma de “descansar la tierra” con cultivos como haba, frijol, alverjón,

cebada, trigo y ayocote; de estos mismos el 42% realiza la rotación principalmente con gramínea, 37% lo hacen tanto con gramínea como con leguminosa y el 21% lo hace principalmente con leguminosa. En cuanto a la tecnología que utilizan, esta varía de acuerdo al tipo de manejo que implementan (GDO_{TEC} , USO_{TRAC} , USO_{YUNT}), donde 57% usan sólo tractor, 33% usan tanto tractor como yunta y 10% usan sólo yunta. Se observó en el ACP de todos los productores (Figura 4) que los productores que utilizan solo tractor se agruparon en los cuadrantes II y III, mientras que los que usan yunta aún en combinación con yunta se agruparon en los cuadrantes I y IV, por otra parte, agrupó a los productores que menos labores realizan en el suelo en los cuadrantes I y II, mientras que agrupó a los que más labores realizan en los cuadrantes III y IV. En cuanto a las labores que realizan en el suelo (LBS_{SOIL}) ya sea que utilicen yunta y/o tractor las actividades más comunes son: subsoleo, la rameada (tirar zacate), barbecho, nivelada, el rastreo, la surcada, siembra y aporcada, estas son realizadas antes que el maíz tenga una altura de 50 cm y luego las labores son con herramientas manuales, a excepción de la cosecha donde algunos llegan a ocupar nuevamente el tractor y complemento; de las ocho actividades antes mencionadas seis son las máximas que realizan los productores, 24% realizan las seis, 24% cinco, 19% cuatro, 19% tres, 5% dos, 9% una; los de AC (Grupo A) son los que menos labores realizan, seguidos de los de AT (grupo C) y los que más realizan son los de ACV, pero también los de transición (grupo E, B y D) (Figura 4). Finalmente, todos utilizan fertilizante químico, pero no hay quien aplique exclusivamente estiércol ($TIPO_{FERT}$), no obstante 52% de ellos aplican este último, donde los productores que lo agregan hacen rotación anual de cierta área en la que lo depositan, así mismo, se observa el dominio del uso de herbicidas sintético ya que todos lo utilizan, excepto que sólo 14.29% realizan el control de arvenses por escarda a mano o herramientas manuales (MIPE).

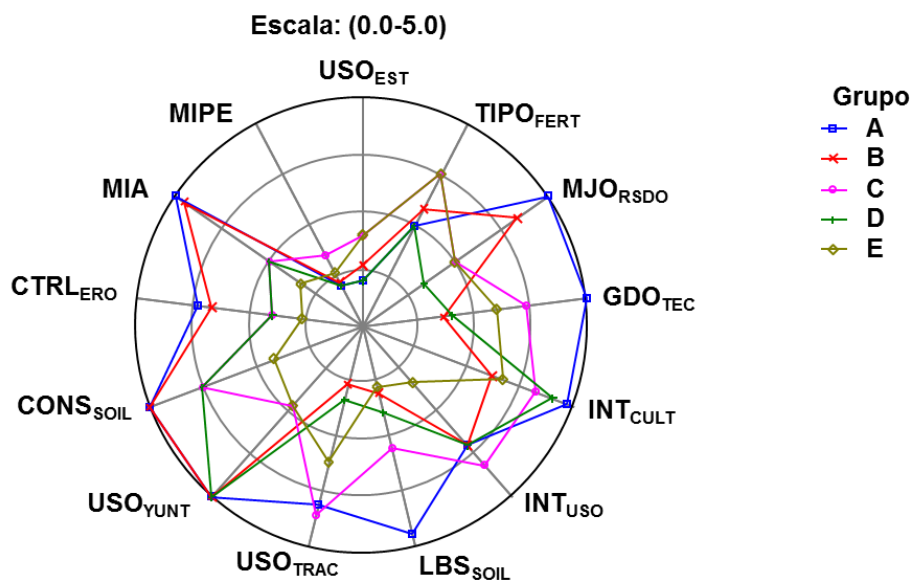


Figura 7. Gráfica de telaraña de los grupos derivados del análisis de componentes principales de las variables del IMA.

Se esperaba que los productores de AT presentaran la más alta calificación del IMA pero no fue así, sino que presentan una baja calificación que se refleja tanto del grupo C (=2.59) como los productores característicos (06=2.94 y 21=2.80), debido a que retiran todo el rastrojo dejando expuesto al suelo (MJO_{RSDO}, MIA) y aunque tienen barreras vivas (CONS_{SOIL}, CTRL_{ERO}) no presentan una combinación de prácticas agroecológicas que permita el reciclaje de nutrientes locales y protección ante la erosión (Govaerts *et al.*, 2006; 2007a, b y c; AFD y FFEM, 2007; FAO, 2012), no obstante, son el segundo grupo que menos labores realizan en el suelo (LBS_{SOIL}, USO_{YUNT}) (ver Cuadro 37 y 40). En cambio, se esperaba que los productores de ACV obtuviesen la menor calificación del IMA, pero el grupo B obtuvo una calificación intermedia entre los manejos estudiados, debido a que mantienen un poco o todo el rastrojo (MJO_{RSDO}, MIA) y a una combinación de prácticas agroecológicas que permite el reciclaje de nutrientes locales y protección ante la erosión (CONS_{SOIL}, CTRL_{ERO}), a pesar de ser el segundo con más laboreos y alto uso de tractor (LBS_{SOIL}, GDO_{TEC}, USO_{TRAC}, USO_{YUNT}) que se relacionaría con efectos negativos en todas las propiedades del suelo (Agüero y Alvarado, 1983; Brévault, 2005; FAO, 2008; Sharley *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2011) (ver Cuadro 37 y 39). En cuanto a los productores de AC, estos presentan la más alta calificación del IMA debido a su

adecuado manejo de residuos y conservación del suelo (MJO_{RSDO}, CONS_{SOIL}, CTRL_{ERO}, MIA, LBS_{SOIL}, GDO_{TEC}, USO_{TRAC}, USO_{YUNT}), sin embargo, aún le falta adoptar prácticas agroecológicas que mejoren el suelo, la nutrición del cultivo y ayuden a enfrentarse a las plagas y enfermedades (USO_{EST}, TIPO_{FERT}, MIPE) (ver Cuadro 37 y 38).

Trabajos previos que han utilizado el marco MESMIS hacen referencia a la evaluación del manejo del agroecosistema, sin embargo, no mencionan actividades específicas, sino que comparan al sistema de referencia con el alternativo conforme a los valores obtenidos de los indicadores elegidos (Astier *et al.*, 2003; Brunett, 2004), o bien analizan la sostenibilidad de los sistemas estudiados con base en umbrales propios de la zona derivados de antecedentes (Gargoloff *et al.*, 2010; Aguilar *et al.*, 2011; Castillo *et al.*, 2012), a partir de los que se infiere la práctica que ha motivado un efecto positivo o negativo. En cambio, Gargoloff *et al.* (2010) realizaron un trabajo similar, ya que asignaron calificaciones a las estrategias de producción adecuadas para la conservación de los recursos a través de la dimensión de “Hacer”, en la que agruparon algunos de los indicadores propuestos por Abbona *et al.* (2007), por lo que esta dimensión es lo más parecida a lo que aquí se desarrolló; aunque ellos asignaron una ponderación a sus indicadores y combinan en un índice las prácticas de manejo y las propiedades de sostenibilidad de los agroecosistemas estudiados.

Las prácticas encontradas para AC y ACV coincide con las reportadas en otros trabajos bajo condiciones edafoclimáticas similares (Govaerts *et al.* 2003, 2005, 2006 a, b, 2007 a, b, c, 2009; Bahena *et al.*, 2009). Al igual que Turijá *et al.* (2012) encontraron en el municipio vecino de San José Chiapa, que los agricultores de AT combinan tecnologías campesinas como modernas se ve reflejado en el grupo C, aunque los característicos (06 y 21) no usan tractor y el control de arvenses es por medios manuales. La calificación que presenta AC coincide con lo que planteó Anderson (1994) como el “rango medio entre una agricultura mecanizada y fertilización inorgánica y la agricultura orgánica con aplicación de labores humanas”, lo cual permitiría una condición aceptable del suelo para la diversidad biológica y una capacidad productiva con características sustentables; por lo que se perfila como “la alternativa adecuada de manejo agrícola”, a pesar del pensamiento productivista de altos rendimientos que lo acompaña y al mismo tiempo motivado por efectos de rentabilidad financiera (Juárez *et al.*, 2009). No obstante, el

manejo de AC presenta una baja adopción en México a pesar de que su comienzo data de los años 30's en Estados Unidos (Bahena *et al.*, 2009), además, de acuerdo con la página oficial del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2016), esta organización reporta que en el año 2009 se instituyó oficialmente el Programa de Agricultura de Conservación, después de 20 años de investigación en el campo.

De modo que, a diferencia de Gargoloff *et al.* (2010), si bien los productores de AT tienen menor posibilidad de incorporar insumos externos y más tecnificación, parece que no presentan una racionalidad ecológica equivalente en el manejo del rastrojo y erosión del suelo; tampoco los de ACV en especial en grado tecnológico y laboreo del suelo, sin embargo, algunos hacen un mejor manejo de residuos. Es decir, los productores de ACV y AC presentan una relación entre el "Saber" y "Hacer", pero los de AT no. Por lo que habría que tener cuidado en considerar a las prácticas de AT como la panacea para generar sistemas productivos sustentables o como una alternativa verde para el conocimiento científico, sino vigilándolas a través de tres principios de manejo agroecológico enunciados por Girard *et al.* (2015): 1) procurar el ajuste y observación en vez de control, 2) que las unidades posean variación espacial y temporal dentro de un concepto de manejo flexible y 3) que exista una experimentación permanente en la granja y especificación de opciones tecnológicas. No obstante, no se puede dar por hecho que las prácticas realizadas son reflejo de la conciencia ecológica del productor (Baroana, 1987 en Toledo, 1992) o que son resultado de las circunstancias y condiciones que le tocó vivir al productor (Sarandón *et al.*, 2014), por lo que en próximos estudios se considera importante incluir el análisis del "Saber" y de los factores internos y externos que provocan dicho manejo.

14.2.1. Variables clave del manejo

De acuerdo con el análisis de componentes principales (Cuadro 36) y como se observa en el gráfico de telaraña (Figura 7), se identifica que las variables clave que distingue a los productores en un tipo de manejo son: GDO_{TEC} , LBS_{SOIL} , USO_{TRAC} , USO_{YUNT} y MIA , ya que presentan más de 0.40 de ponderación en cada componente principal, aunque la penúltima influye en los grupos de transición que se ve reflejado en el análisis de

componentes principales al ubicarlos en el sector IV (ver Figura 4 y 7). Aunque al observar sólo a los productores característicos (Figura 3), se observa que las variables clave que diferenciaron a los productores característicos son: GDO_{TEC} , LBS_{SOIL} , USO_{TRAC} y USO_{YUNT} .

14.3. Evaluación de la salud del agroecosistema

Para presentar la salud del agroecosistema se aborda el estado de los recursos del mismo, primero con las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo para discutirlos a través de la salud del suelo y luego el nivel socioeconómico que se discute a través de la solvencia económica.

14.3.1. Propiedades químicas del suelo

Los sitios de referencia del ecosistema nativo (B) obtuvieron las mayores calificaciones en ISA_{Amb-Q} con 4.15 para el segundo sitio (B2) y el primer sitio (B1) con 3.73. En los agrosistemas los productores de agricultura tradicional (AT) obtuvieron la mayor calificación donde el productor 21 obtuvo 3.69 y el productor 06 con 3.49, seguidos de los productores de agricultura de conservación (AC) donde el productor 01 obtuvo 3.47 y el productor 04 con 3.43, pero ambos productores (07 y 09) de agricultura convencional (ACV) obtuvieron la menor calificación con 3.27 (Cuadro 43). De acuerdo con la escala propuesta en ISA_{Amb-Q} , todas las parcelas no presentaron condiciones óptimas en la propiedad química, sino un rango aceptable entre 3.27 y 3.68 (Cuadro 43). Respecto al ecosistema nativo (B) las calificaciones asignadas a los agrosistemas en los factores MO, N, P y CIC presentaron diferencias estadísticamente significativas, excepto en CE. Se encontró diferencia estadísticamente significativa en la calificación de K para B, AT y AC respecto a ACV. Se encontró que el manejo tiene efecto estadísticamente significativo en pH, MO, N, K y CIC, en P incluso el sitio, excepto en CE (Cuadro 44). Este deterioro se observó principalmente en ACV que obtuvo la menor calificación de ISA_{Amb-Q} con 3.27, seguido de AC con 3.45 y AT con 3.59 (Cuadro 44).

Cuadro 43. Calificaciones obtenidas bajo la escala de intervalo en la dimensión ambiental para las propiedades químicas del suelo (ISA_{Amb-Q}) por cada unidad productiva y testigos.

Factor	Ecosistema nativo		Agricultura tradicional		Agricultura de conservación		Agricultura convencional	
	B1	B2	06	21	01	04	07	09
Potencial de hidrógeno	1.667	2.917	3.333	3.750	2.500	1.667	2.500	2.500
Materia orgánica	4.433	4.440	2.767	2.490	2.213	2.767	2.490	2.490
Nitrógeno	3.333	3.750	1.250	2.083	2.083	2.083	2.500	1.250
Fósforo	2.500	3.750	4.583	5.000	5.000	5.000	4.583	5.000
Potasio	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	3.333	4.167
Capacidad de intercambio catiónico	4.167	4.167	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Conductividad eléctrica	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
ISA _{Amb-Q}	3.729	4.146	3.490	3.689	3.471	3.431	3.272	3.272

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 44. Análisis de varianza para las calificaciones obtenidas bajo la escala de intervalo en la dimensión ambiental para las propiedades químicas del suelo (ISA_{Amb-Q}) por manejo.

Factor	Ecosistema nativo	Agricultura tradicional	Agricultura de conservación	Agricultura convencional
Potencial de hidrógeno	2.292* A•	3.542 B	2.083 A	2.5 AB
Materia orgánica	4.437 B	2.628 A	2.49 A	2.49 A
Nitrógeno	3.542 B	1.667 A	2.083 A	1.875 A
Fósforo	3.125 A	4.792 B	4.792 B	5.000 B
Potasio	5.000 B	5.000 B	5.000 B	3.750 A
Capacidad de intercambio catiónico	4.167 B	2.500 A	2.500 A	2.500 A
Conductividad eléctrica	5.000 -	5.000 -	5.000 -	5.000 -
ISA _{Amb-Q}	3.937	3.590	3.451	3.272

Referencia: *=Calificación del factor, •=Grupo estadístico al que pertenece (Tukey $\alpha = <0.05$), negrita indica efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo ($p = <0.05$), cursiva indica efecto estadísticamente significativo del tipo manejo y sitio ($p = <0.05$). Fuente: elaboración propia.

Del análisis clúster realizado a las calificaciones asignadas en ISA_{Amb-Q} se observó la agrupación de las unidades de estudio (Figura 8) donde se diferencian claramente los agrosistemas de los testigos del ecosistema nativo (B1 y B2), y agrupa a los respectivos productores de AT (06 y 21), AC (01 y 04), y ACV (07 y 09). Se aprecia sobre el eje de las abscisas una agrupación de las unidades de estudio que al acercarse a cero está ligado a valores idóneos en las propiedades químicas del suelo para el cultivo de maíz, y lo contrario conforme se alejan, pero el orden que presentaron no coincide con los valores en ISA_{Amb-Q} (Cuadro 43), excepto los productores de AC. En la Figura 9 los agrosistemas se diferenciaron del ecosistema nativo y presentaron un orden de valores idóneos conforme se acercan a 0 sobre el eje de las abscisas, cuyo orden coincide con los valores obtenidos por ISA_{Amb-Q} (Cuadro 44).

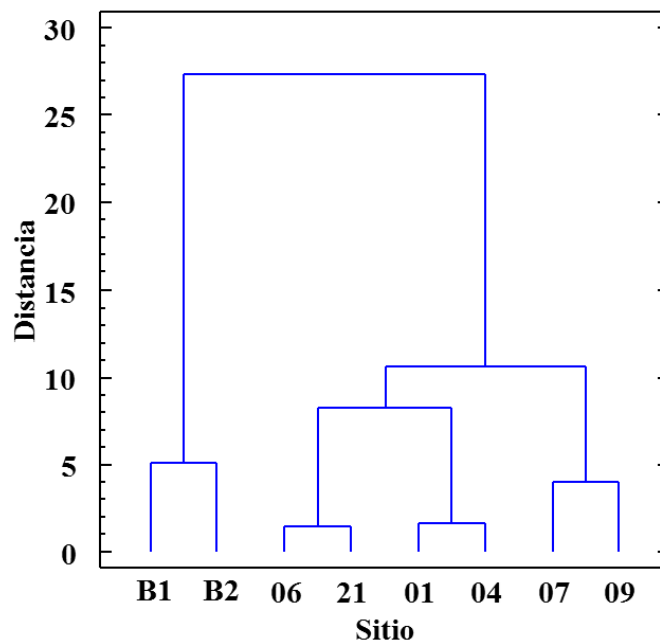


Figura 8. Dendrograma de agrupación de las parcelas y testigos.

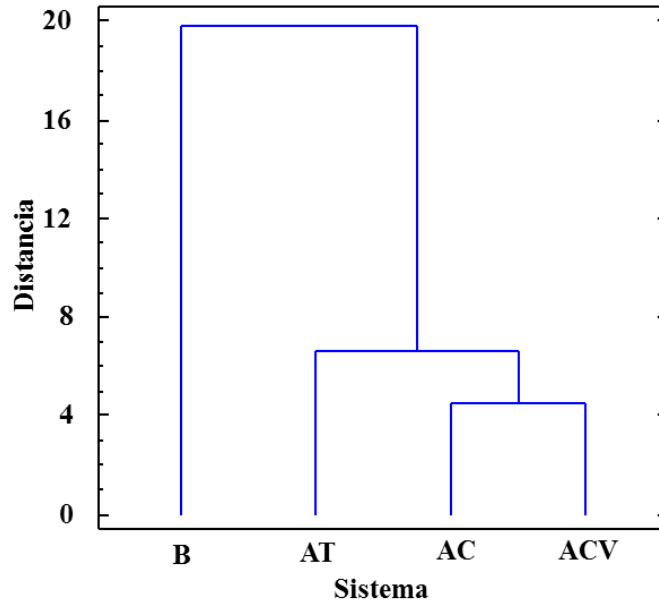


Figura 9. Dendrograma de agrupación de los agrosistemas y ecosistema nativo.

Respecto al ecosistema nativo (B) se encontró diferencia estadísticamente significativa para los agrosistemas en los valores de MO, N, P, CIC y CE. Los valores en K para B, AT y AC presentaron diferencia estadísticamente significativa respecto a ACV. También se encontró efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo en pH, MO, N, K, CIC y CE, mientras que en P también lo tuvo el sitio (Cuadro 45). Lo anterior coincide con el análisis del Cuadro 44 donde se encontró diferencia estadísticamente significativa para los agrosistemas en MO, N, P, CIC y K, excepto que se encontró que los valores para los agrosistemas en CE tienen diferencia estadísticamente significativa respecto a B porque son menores. Así mismo coincide el análisis de efecto significativo del sistema y sitio en los mismos factores, y además CE presentó efecto significativo del tipo de sistema.

Cuadro 45. Valor reportado de los análisis de laboratorio para las propiedades químicas del suelo y su respectivo análisis estadístico por agrosistema y ecosistema nativo.

Factor	Ecosistema nativo	Agricultura tradicional	Agricultura de conservación	Agricultura convencional
Potencial de hidrógeno	5.746*	6.235	5.626	5.823
	0.161†	0.074	0.146	0.010
	A•	B	A	AB
Materia orgánica (%)	3.623	1.492	1.373	1.395
	0.568	0.118	0.112	0.062
	B	A	A	A
Nitrógeno (%)	0.108	0.045	0.056	0.049
	0.013	0.005	0.004	0.005
	B	A	A	A
Fósforo (mg Kg ⁻¹)	<i>14.063</i>	<i>32.056</i>	<i>42.587</i>	<i>39.536</i>
	<i>5.373</i>	<i>3.145</i>	<i>3.444</i>	<i>7.092</i>
	A	B	B	B
Potasio (meq K 100g ⁻¹)	0.894	0.956	0.956	0.383
	0.088	0.113	0.108	0.047
	B	B	B	A
Capacidad de intercambio catiónico (Cmol(+) Kg ⁻¹)	19.016	7.500	8.833	10.400
	1.427	0.473	1.155	0.719
	B	A	A	A
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.173	0.102	0.052	0.038
	0.032	0.013	0.005	0.004
	B	A	A	A

Referencia: * = Valor del factor, † = Error estándar, • = Grupo estadístico al que pertenece (Tukey $\alpha = <0.05$), negrita indica efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo ($p = <0.05$), cursiva indica efecto estadísticamente significativo del tipo manejo y sitio ($p = <0.05$). Fuente: elaboración propia.

Con base en el ACP aplicado a las propiedades químicas del suelo se determinó 75.75% de la variabilidad de los datos (Cuadro 46). De acuerdo a este análisis, valores altos de la componente 1 indican que los sitios tienden a presentar mayor cantidad de MO y N, así como altos CIC y CE; mientras que valores altos de la componente 2 indican que el sitio presenta altas concentraciones de P y K, así como un pH alto. Se observa que los sitios del ecosistema nativo (B1 y B2) se distinguen de los agrosistemas principalmente por sus altos valores en la componente 1. Sobre el eje de las ordenadas se observa el gradiente descendiente de las parcelas, partiendo del productor 21 (AT), aunque este orden no coincide tal cual al orden esperado de ISA_{Amb-Q} (Cuadro 43) debido a los valores que cada monolito obtuvo en cada componente principal (Figura 10).

Cuadro 46. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades químicas del suelo después del ACP.

	Componentes principales			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores	3.69	1.61	0.78	0.53
Porcentaje de varianza	52.78	22.97	11.18	7.58

Ponderación de la propiedad química en la CP	
Potencial de hidrógeno	0.03 0.61*
Materia orgánica	0.49* 0.01
Nitrógeno	0.47* -0.14
Fósforo	-0.28 0.42*
Potasio	0.20 0.54*
Capacidad de intercambio catiónico	0.46* -0.21
Conductividad eléctrica	0.46* 0.31

Referencia: CP=componente principal; *=indica que la propiedad tiene carga significativa en esa CP.
Fuente: elaboración propia.

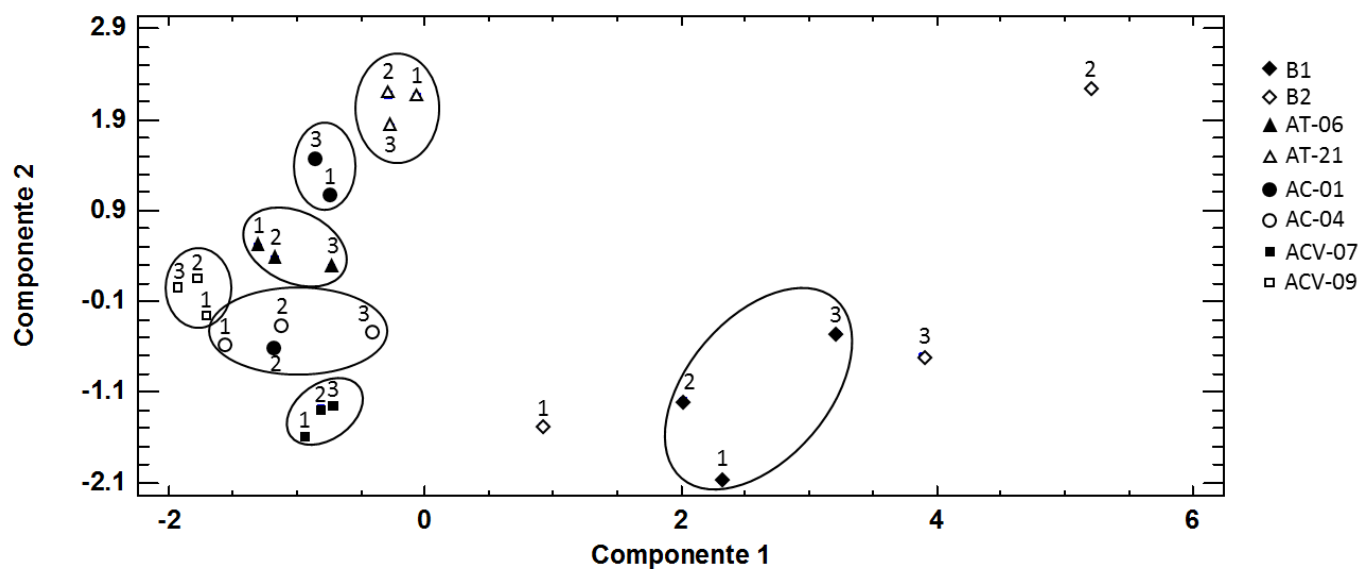


Figura 10. Diagrama de las propiedades químicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito.

14.3.2. Propiedades físicas del suelo

Respecto al ecosistema nativo (B) se encontró diferencia estadísticamente significativa en la densidad aparente (DA) de los agrosistemas. Sólo se encontró diferencia estadísticamente significativa en el volumen perdido por compactación (VPC) de ACV respecto a B. Los agrosistemas presentaron diferencia estadísticamente significativa en hojarasca (Hj) y contenido de humedad (Hm) respecto a B. De las texturas encontradas en los sitios (Cuadro 47), se encontró que la textura de AT y AC presentaron diferencia estadísticamente significativa respecto a B, pero ACV no presentó diferencia significativa. Se encontró que hay efecto estadísticamente significativo del tipo de sistema en Hj y Hm mientras que en DA, VPC y textura también hay efecto del sitio (Cuadro 48).

Cuadro 47. Tipo de textura del suelo encontrada en las parcelas y testigos.

Sistema	Productor	Monolito		
		a	b	c
Ecosistema	B1	1	1	1
nativo	B2	1	3	1
Agricultura	06	6	6	5
tradicional	21	4	3	2
Agricultura de	01	4	4	5
conservación	04	2	1	3
Agricultura	07	1	1	1
convencional	09	2	1	1

Referencia: 1=Migajón arenoso, 2=Migajón arenoso que tiende a arena limosa, 3=Arena limosa que tiende a migajón arenoso, 4=Arena limosa, 5=Arena limosa que tiende a arena, 6=Arena que tiende a arena limosa. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 48. Valor reportado de los análisis de laboratorio para las propiedades físicas del suelo y su respectivo análisis estadístico por agrosistema y ecosistema nativo.

Factor	Ecosistema nativo	Agricultura tradicional	Agricultura de conservación	Agricultura convencional
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.054* 0.025† A•	1.325 0.049 C	1.194 0.014 B	1.207 0.007 B
Volumen perdido por compactación (%)	16.950 1.013 A	18.178 0.256 AB	17.978 0.338 AB	19.383 0.248 B
Hojarasca (Kg m ⁻²)	4.465 0.721 B	0.551 0.238 A	0.923 0.337 A	0.505 0.109 A
Humedad del suelo (%)	30.800 2.589 B	12.675 0.679 A	15.337 0.445 A	17.134 0.891 A
Textura	1.333 -	4.33 -	3.167 -	1.167 -
	A	B	B	A

Referencia: *=Valor del factor, †=Error estándar, •=Grupo estadístico al que pertenece (Tukey $\alpha = <0.05$), negrita indica efecto estadísticamente significativo del tipo de sistema ($p = <0.05$), cursiva indica efecto estadísticamente significativo del tipo sistema y sitio ($p = <0.05$). Fuente: elaboración propia.

Con el ACP aplicado a las propiedades físicas del suelo se obtuvo un 81.95% de la variabilidad de los datos (Cuadro 49). De acuerdo con este análisis, valores altos de la componente 1 indican que los sitios presentan una mayor DA, pero una menor cantidad de hojarasca y humedad, así como una textura de suelo que tiende a una mayor concentración de arena; mientras que valores altos de la componente 2 indican una menor pérdida de volumen por compactación. Se observa sobre el eje de las abscisas que se diferencia claramente al ecosistema nativo de los agrosistemas (Figura 11).

Cuadro 49. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades físicas del suelo después del ACP.

	Componentes principales			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores	3.04	1.06	0.59	0.19
Porcentaje de varianza	60.76	21.19	11.84	3.82
Ponderación de ñas propiedades físicas en la CP				
Densidad aparente	0.53*	0.02		
Volumen perdido por compactación	0.21	-0.83*		
Hojarasca	-0.50*	0.04		
Humedad del suelo	-0.53*	0.04		
Textura	0.37*	0.55		

Referencia: CP=componente principal, *=indica que la propiedad tiene carga significativa en esa CP.
Fuente: elaboración propia.

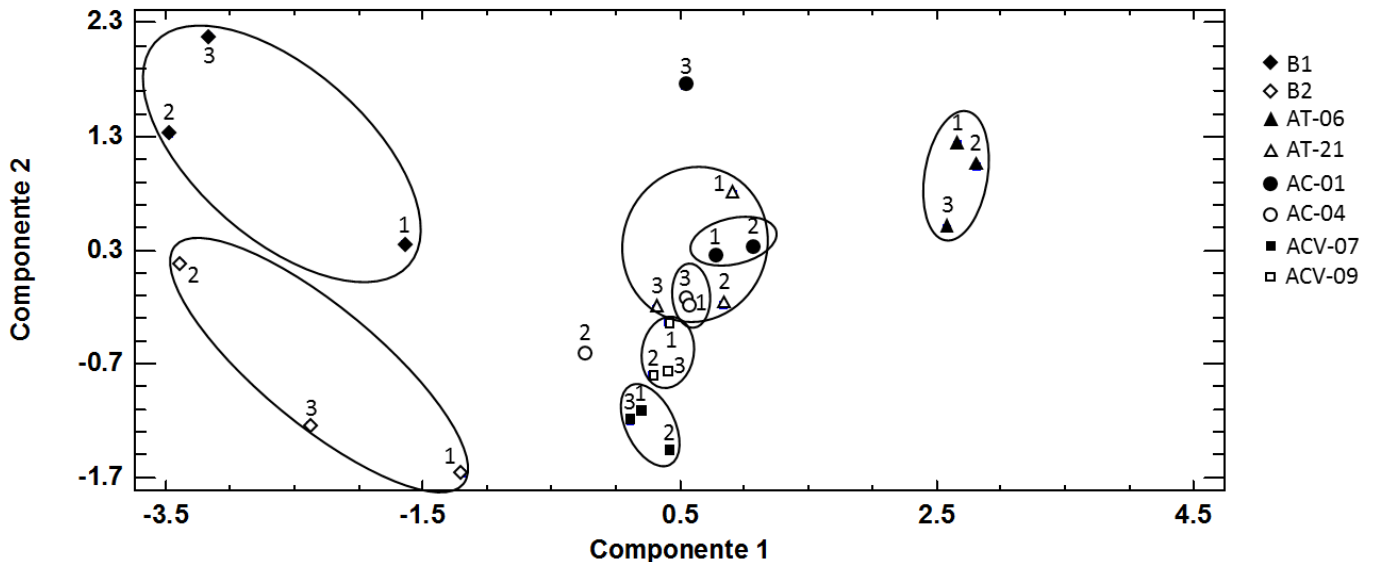


Figura 11. Diagrama de dispersión de las propiedades físicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito.

14.3.3. Propiedad biológica del suelo

Para la propiedad biológica del suelo se analizó por manejo la densidad de población y biomasa de cada grupo taxonómico, además la diversidad y riqueza, extrapolado a 1 m². No se encontró diferencia estadísticamente significativa en densidad de población (DP) total de los agrosistemas respecto al ecosistema nativo (B) y tampoco se encontró efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo y sitio en el mismo. No obstante, se observó que los manejos coincidían en ciertos grupos dominantes como: lombrices, escarabajos, larvas de escarabajos y gallinas ciegas, donde los tres primeros mostraron diferencias significativas. Así la DP en lombrices de AT tuvo diferencia estadísticamente significativa respecto a B, la DP de escarabajos de AC tuvo diferencia estadísticamente significativa respecto a B y la DP en larvas de escarabajos de ACV tuvo diferencia estadísticamente significativa respecto a B. Además, la DP en lombrices y escarabajos presentaron efecto estadísticamente significativo por el tipo de manejo y en larvas de escarabajos incluso por sitio. En cuanto a la biomasa (BM) se encontró diferencia estadísticamente significativa de AC respecto a B, y también efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo. Nuevamente en los grupos dominantes se encontró diferencia estadísticamente significativa en BM de lombrices de AC respecto a B y también en la BM de escarabajos de AC respecto a B, pero no hubo diferencia en la BM de larvas de escarabajos para ningún manejo. Se encontró efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo en BM de lombrices, pero ningún efecto sobre la BM de escarabajos y larvas de los mismos. Por otra parte, se encontró diferencia estadísticamente significativa en la diversidad y riqueza de los agrosistemas respecto a B y efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo (Cuadro 50). Además, con base en el ACP aplicado a las propiedades biológicas del suelo se obtuvo el 72.16% de la variabilidad de los datos (Cuadro 51). Este análisis indica que valores altos de la componente principal 1 se relaciona con una mayor densidad de población (DP) total y de lombrices, así como de biomasa (BM) total y de lombrices; mientras que valores altos de la componente principal 2 se relaciona con una mayor DP y BM de adultos y larvas de escarabajos, pero que presentan menor diversidad y riqueza. Se observa sobre el eje

de las ordenadas la separación de los agrosistemas respecto al ecosistema nativo (Figura 12).

Cuadro 50. Valor reportado del análisis de laboratorio para las propiedades biológicas del suelo y su respectivo análisis estadístico por agrosistema y sistema nativo.

Factor	Ecosistema nativo	Agricultura tradicional	Agricultura de conservación	Agricultura convencional
	683*	429	909	656
DP total (ind m ⁻²)	114†	114	114	114
	AB•	A	B	AB
	235	0	456	67
DP en lombrices (ind m ⁻²)	66	0	98	26
	BC	A	C	AB
DP en escarabajos (ind m ⁻²)	48	152	179	117
	23	40	56	27
	A	AB	B	AB
DP en larvas de escarabajos (ind m ⁻²)	35	69	61	291
	10	16	20	92
	A	A	A	B
Biomasa total (g m ⁻²)	56.738	5.812	160.045	13.999
	10.815	1.925	37.081	2.999
	A	A	B	A
Biomasa de lombrices (g m ⁻²)	48.427	0	148.839	8.861
	11.121	0	36.335	3.125
	A	A	B	A
Biomasa de escarabajos (g m ⁻²)	0.247	1.385	1.765	0.798
	0.149	0.400	0.597	0.258
	A	AB	B	AB
Biomasa de larvas de escarabajos (g m ⁻²)	0.321	1.995	0.958	1.969
	0.156	1.030	0.513	0.500
	-	-	-	-
	1.929	1.613	1.455	1.478
Diversidad	0.092	0.084	0.078	0.206
	B	A	A	A
	11.667	7.167	8.667	7.500
Riqueza	0.615	0.401	0.955	0.764
	B	A	A	A

Referencia: DP= Densidad de población, entre paréntesis se muestra la unidad en que se mide el factor, *=Valor del factor, †=Error estándar, •=Grupo estadístico al que pertenece (Tukey $\alpha = <0.05$), negrita indica efecto estadísticamente significativo del tipo de manejo ($p = <0.05$), cursiva indica efecto estadísticamente significativo del tipo manejo y sitio ($p = <0.05$). Fuente: elaboración propia.

Cuadro 51. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades biológicas del suelo después del ACP.

	Componentes principales			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores	4.82	2.39	1.19	0.63
Porcentaje de varianza	48.23	23.93	11.85	6.34
	Ponderación del indicador o subindicador en la CP			
DP total	0.38*	0.17		
DP en lombrices	0.43*	0.04		
DP en escarabajos	0.26	0.27*		
DP en larvas de escarabajos	-0.21	0.39*		
Biomasa total	0.42*	0.14		
Biomasa de lombrices	0.42*	0.14		
Biomasa de escarabajos	0.25	0.29*		
Biomasa de larva de escarabajos	-0.24	0.36*		
Diversidad	0.09	-0.56*		
Riqueza	0.28	-0.42*		

Referencia: CP=componente principal, *=indica que la propiedad tiene carga significativa en esa CP.
Fuente: elaboración propia.

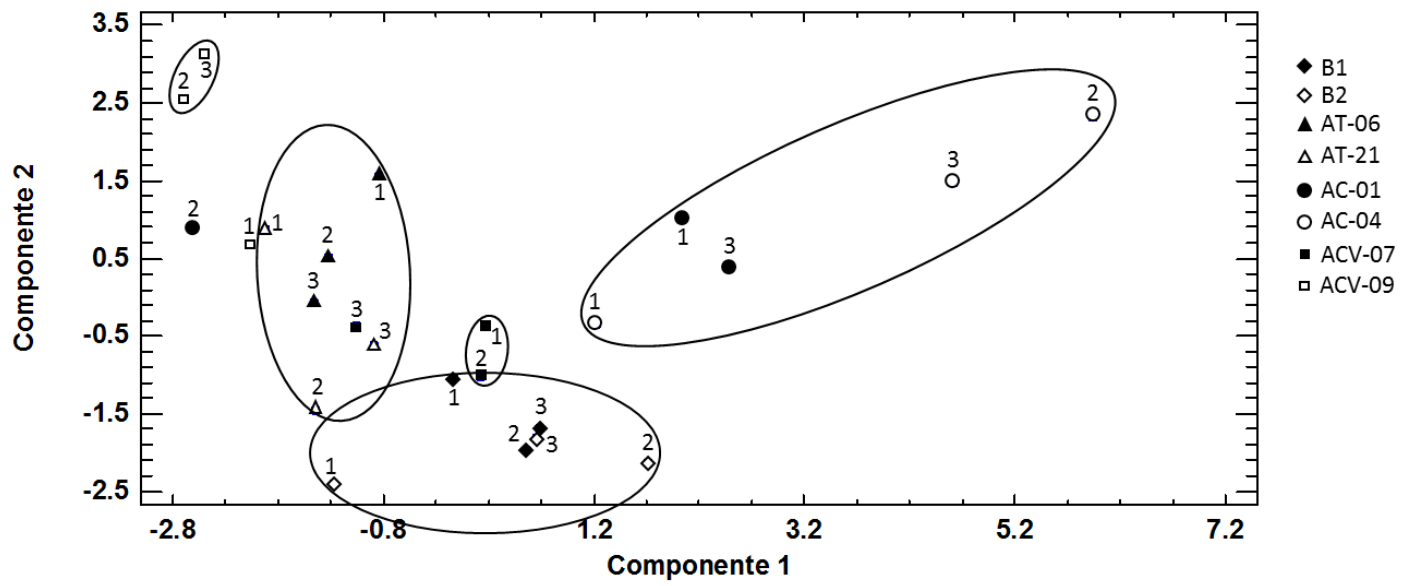


Figura 12. Diagrama de dispersión de las propiedades biológicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito.

14.3.4. Nivel socioeconómico

Los productores de agricultura convencional (ACV) presentaron un ingreso neto anual de la unidad de producción (INAUP) por hectárea que representa 33.7% y 39.8% de su producto bruto (PB) para el productor 07 y 09 respectivamente, 73.7% y 45.5% para el productor 01 y 04 de agricultura de conservación (AC) respectivamente, y -100.3% y 80.7% para los productores 06 y 21 de agricultura tradicional (AT) respectivamente (Cuadro 52). Se observó que el primer agrosistema que tiende a satisfacer los umbrales del nivel de reproducción social (NRS) es AC, seguido de ACV y AT.

Cuadro 52. Ingreso neto anual de la unidad de producción (INAUP) por hectárea para el sistema productivo de maíz respecto a cada unidad productiva por sistema implementado.

Sistema	Productor	Producción (t ha ⁻¹)	Costo Promedio* (\$ Kg ⁻¹)	Producto Bruto (\$)	CIA (\$)	Depreciación (\$)	CTP (\$)	INAUP (\$ ha ⁻¹)
AT	06	2.1	3	6,384	1,206	2,182	9,400	-6,404
	21	6	3	18,050	860	2,616	0	14,574
AC	01	8	3	24,000	5,595	109	600	17,696
	04	5	2.8	14,000	6,620	109	900	6,371
ACV	07	4	2.9	11,777.50	3,014	244	4,550	3,969.5
	09	5	2.7	14,672.90	7,818	109	900	5,845

Referencia: AT=Agricultura tradicional, AC=Agricultura de conservación, ACV=Agricultura convencional, CIA=Consumos intermedios en agroquímicos, CTP=Costo de transporte del producto, * Por kilogramo de maíz a lo largo del año según lo reportado por los productores. Fuente: elaboración propia.

14.3.5. Visión holística

Del análisis realizado a las posiciones ordinales adquiridas por cada factor en cada agrosistema, se encontró que la agricultura de conservación (AC) presenta mejor comportamiento para promover la salud en el Agroecosistema, seguido de la agricultura convencional (ACV) y finalmente la agricultura tradicional (AT) (Cuadro 53). Con el ACP aplicado simultáneamente a las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo se obtuvo un 58.7% de la variabilidad de los datos (Cuadro 54). De acuerdo con este análisis, valores altos de la componente 1 indican que los sitios mayor MO, N, K, CIC, CE, H_j, H_m, una textura con más limo, diversidad y riqueza, a la vez que presentan menor DA, VPC, DP y BM de larvas de escarabajo; mientras que valores altos de la componente 2 indican una mayor DP y BM total, en lombrices y escarabajos adultos, pero con un menor pH. Nuevamente, se observa sobre el eje de las abscisas que se diferencia claramente al ecosistema nativo de los agrosistemas, mientras que entre los agrosistemas las parcelas de AC se definen más que las de AT y ACV (Figura 13).

Cuadro 53. Valor obtenido bajo la escala ordinal en cada factor por agrosistema.

Factor	Agricultura tradicional	Agricultura de conservación	Agricultura convencional
Potencial de hidrógeno	1	3	2
Materia orgánica	1	3	2
Nitrógeno	3	1	2
Fósforo	3	1	2
Potasio	2	1	3
CIC	3	2	1
Conductividad eléctrica	3	2	1
Densidad aparente	3	1	2
Volumen perdido por compactación	2	1	3
Textura	3	2	1
Hojarasca	2	1	3
Comportamiento de macrofauna	3	1	2
Diversidad	1	3	2
INAUP	3	1	2

Referencia: CIC=Capacidad de intercambio catiónico, INAUP=Ingreso neto anual por unidad de producción. Fuente: elaboración propia.

Cuadro 54. Ponderaciones en las componentes principales de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo después del ACP.

		Componentes principales			
		CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores		8.22	4.69	2.34	1.98
Porcentaje de varianza		37.36	21.34	10.62	8.99
		Ponderación del indicador o subindicador en la CP			
Propiedades químicas	Potencial de hidrógeno (pH)	-0.02	-0.10*		
	Materia orgánica (MO)	0.29*	-0.11		
	Nitrógeno (N)	0.31*	-0.03		
	Fósforo (P)	-0.18	0.18		
	Potasio (K)	0.11*	0.06		
	Capacidad de intercambio catiónico	0.31*	-0.07		
	Conductividad eléctrica (CE)	0.26*	-0.14		
Propiedades físicas	Densidad aparente	-0.29*	0.00		
	Volumen perdido por compactación	-0.12*	-0.02		
	Hojarasca	0.31*	-0.06		
	Humedad del suelo	0.33*	-0.10		
	Textura	-0.15*	0.05		
Propiedades biológicas	DP total	0.11	0.37*		
	DP en lombrices	0.15	0.39*		
	DP en escarabajos	-0.09	0.32*		
	DP en larvas de escarabajos	-0.16*	-0.09		
	Biomasa total	0.10	0.43*		
	Biomasa de lombrices	0.10	0.43*		
	Biomasa de escarabajos	-0.08	0.32*		
	Biomasa de larvas de escarabajos	-0.19*	-0.12		
	Diversidad	0.23*	-0.09		
	Riqueza	0.32*	0.09		

Referencia: CP=componente principal, *=indica que la propiedad tiene carga significativa en esa CP.
Fuente: elaboración propia.

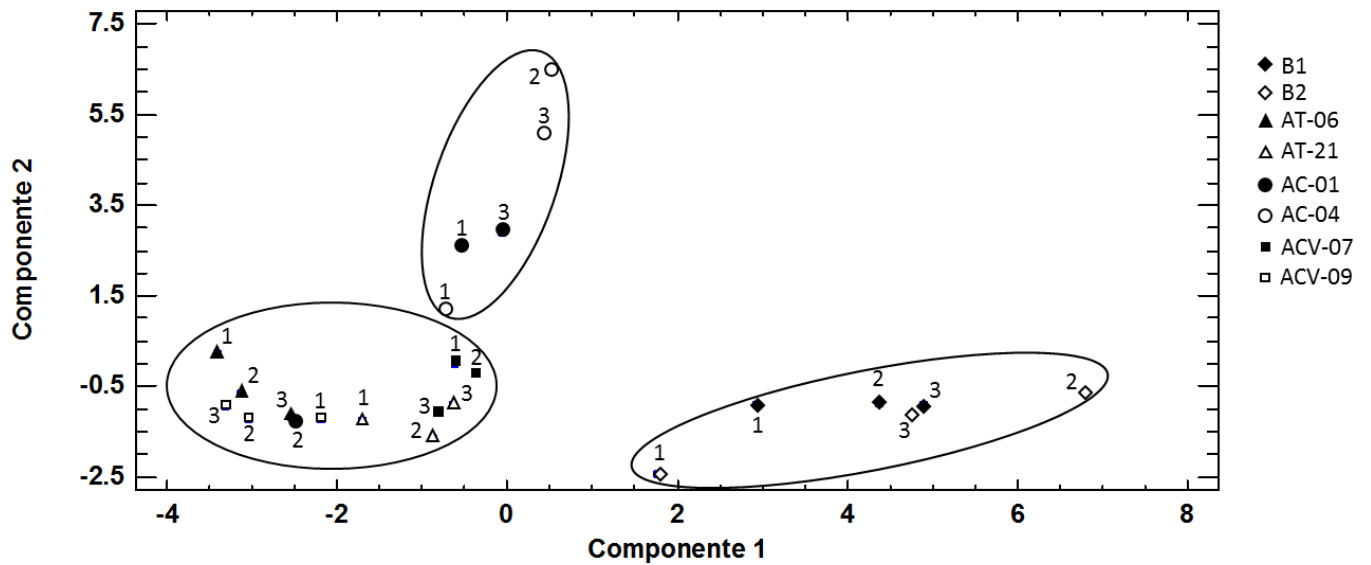


Figura 13. Diagrama de dispersión de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo después del ACP. La etiqueta que acompaña cada símbolo indica el número del monolito.

14.3.6. Salud del suelo

Se han reportado diversos indicadores para evaluar la calidad del suelo (Agüero y Alvarado, 1983, p.29; Astier *et al.*, 2002, p.610; 2008, p.30; Bautista *et al.*, 2004, p.94; Brunnet, 2004, p.84; Abbona *et al.*, 2007, p.341) o bien la salud del mismo que relaciona las propiedades químicas y físicas con las biológicas (Juárez *et al.*, 2009, p.56). Trabajos previos en condiciones similares al área de estudio con cultivo de maíz reportan indicadores químicos, físicos y microbiológicos de calidad del suelo (Govaerts *et al.*, 2006a) excepto macrofauna del suelo. Aquí, los sitios de B (B1 y B2) obtuvieron la mayor calificación en ISA_{Amb-Q} debido a valores más idóneos de los factores materia orgánica (MO), nitrógeno (N) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) ligados a la ubicación de los mismos, ya que B2 se encuentra en un lugar donde confluyen escurrimientos intermitentes de agua que influye en la concentración de N mientras que B1 presentó menor concentración de N debido a que no es fertilizado; ambos poseen la mayor cantidad de MO (2.3-5.9%) y valores idóneos para CIC (15.8-24.6 cmol(+) Kg⁻¹), no se

observa relación del potencial de hidrógeno (pH) con la cantidad de hojarasca (Hj) (Cuadro 54) donde B1 y B2 presentaron 3.746 y 5.184 Kg m⁻² respectivamente aunque sí son los pH más ácidos. Las menores calificaciones de los agrosistemas se relacionan con las evidencias de deterioro encontradas, como una baja fertilidad debido a la extracción constante de maíz, principalmente en ACV; otro signo de deterioro es la menor disponibilidad de alimento (MO) para los organismos en los agrosistemas respecto al ecosistema nativo; sin embargo, en este estudio no se analizó si existe algún nivel de toxicidad por algún elemento (Juárez *et al.*, 2009, pp. 40-43). No obstante, entre los agrosistemas los productores de AT obtuvieron la mayor calificación debido a un pH más idóneo para la absorción de nutrientes, seguidos de ACV y AC en el mismo factor. Los productores de ACV obtuvieron la menor calificación en ISA_{Amb-Q} debido a los valores de potasio (K) que está ligado a la etapa del rastrojo que aún no estaba degradado para reintegrarlo al suelo. Las calificaciones de ISA_{Amb-Q} adquiridas por los productores de AT y AC son cercanos entre sí, además, aunque para los productores de ACV son iguales no implica que tengan las mismas calificaciones en los mismos factores evaluados como se observa en los macronutrientes. La diferencia significativa en los grupos estadísticos para MO, N y CIC de los agrosistemas respecto a B, se debe a calificaciones cercanas o iguales entre los agrosistemas, pero menores que B, por el contrario, en P se debe a que las calificaciones de los agrosistemas son mayores que B, y en el caso de la CE la ausencia de diferencia se debe a que todos obtuvieron calificación de idoneidad. En cambio, la diferencia en K está ligada a que B, AT y AC obtuvieron calificación idónea mientras que ACV no. La baja calificación de ACV comparado con AC coincide con lo reportado por Govaerts *et al.* (2006a) en relación a menores valores en N, P y K. Las mayores concentraciones de K en AC respecto a ACV coincide con lo reportado, sin embargo, AC presentó menor concentración de MO que ACV a pesar de implementarse por más de cinco años (Govaerts *et al.*, 2007c). Además, Govaerts *et al.* (2006a, 2007c) mostraron la alta correlación entre C y N, como lo encontrado aquí entre MO y N que se agruparon en una misma componente (Cuadro 46, Figura 9).

Se encontraron efectos evidentes del manejo sobre la propiedad física (Cuadro 48) como la modificación de la estructura del suelo en ACV y AT, ya que el suelo se encuentra pulverizado, de modo que esto afecta a procesos como la retención de humedad y aire, escurrimiento y drenaje, por lo que lo vuelve susceptible a la erosión hídrica y eólica (Juárez *et al.*, 2009, pp. 39,40; Pérez y Marasas, 2013). Govaerts *et al.* (2006a) también mencionan que ACV presenta menor calificación que AC cuando evaluaron la resistencia de la capa superficial del suelo, como lo observado aquí en con el mayor volumen perdido por compactación (VPC) (14.4%>B) de ACV relacionado con la pérdida de estructura del suelo por el uso intensivo de maquinaria (Guzmán *et al.*, 2000; Astier *et al.*, 2002; Balcaza, 2009) a pesar de una densidad aparente (DA) intermedia (14%>B), además mencionan que la compactación en ACV no parece una limitación en las condiciones del área de estudio. A diferencia de lo que encontraron Govaerts *et al.* (2007a), aquí AC presenta menor Hm que ACV (-10.49%), a pesar que el primero presenta mayor cantidad de Hj (83%>ACV). No obstante, se encontró una alta correlación entre Hj y Hm al agruparse en la CP1 con el mismo sentido negativo (Cuadro 49), esto se observó principalmente entre B y los agrosistemas, ya que estos últimos presentan menor humedad (AT con -58.85%, AC con -50.21% y ACV con -44.37%). AT aunque presenta un VPC intermedio (7.2%>B), tiene la mayor DA (26%>B) debido a los granos de arena, lo cual también significa que presenta una alta compactación (Agüero y Alvarado, 1983). La baja diferencia en DA (13%>B) y VPC (6.1%>B) de AC está ligado a una mayor estabilidad de sus agregados, lo que las parcelas de ACV no presentan a pesar que dejen residuos (Naudin *et al.*, 2005; Govaerts *et al.*, 2007c). La menor DA en AC que ACV ha sido reportado para este tipo de agrosistema, la cual está liga a la mayor actividad biológica (Naudin *et al.*, 2005). La diferencia significativa en Hj se debe a que los agrosistemas estuvieron muy por debajo de B (ACV con -88.6%, AT con -87.7% y AC con -79.3%), además, que ACV posea una cantidad cercana de Hj comparado con AC no implica que conserve las propiedades físicas del suelo (Govaerts *et al.*, 2009). En la textura B y ACV obtuvieron proporciones similares de arcilla, limo y arena donde B presentó 5.7%, 26.4%, 67.9% (respectivamente) y ACV con 5.3%, 27.3% y 67.5%, valores intermedios de AC con 4.7%, 17.2 y 78%, mientras que AT presentó 4.4%, 14%, 81.6%. El ACP presenta correlación inversa entre la textura y Hm, ya que las ubica en la

misma CP pero con signo diferente, así, se observa en la distribución de los monolitos que la parcela del productor 21 (AT) presenta las texturas con mayor concentración de arena, menor Hm y Hj, mientras que en el otro extremo los sitios de B presentan texturas con mayor concentración de limo, Hm y Hj. Algunos autores denotan la relación entre la actividad biológica y el mejoramiento de las propiedades del suelo que pueden empezar a reflejarse a partir de los tres años, especialmente la porosidad del suelo y por lo tanto la dinámica del agua (Naudin *et al.*, 2005; Brussaard *et al.*, 2007; Juárez *et al.*, 2011)

No se profundizó en la propiedad biológica para evidenciar su deterioro, por ejemplo, si existe disminución o interrupción de algún proceso biológico derivado del impacto a las microcadenas alimenticias o ruptura de la estructura biológica (Juárez *et al.*, 2009, pp. 43, 44), no obstante, se encontró una reducción en la riqueza y biodiversidad de macrofauna en los agrosistemas respecto al ecosistema nativo (Cuadro 50) esto debido al laboreo, que genera desequilibrios a diferentes niveles tróficos (Lavelle *et al.*, 1998; Brévault *et al.*, 2005; Nicholls y Altieri, 2008), ambas propiedades presentan alta correlación (Cuadro 51). De acuerdo con Juárez *et al.* (2011) las actividades que se hagan a favor de los organismos del suelo se refleja en la abundancia (relacionada con DP), biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo; mencionan que en las áreas naturales menos perturbadas o de vegetación secundaria la diversidad será mayor y ciertas especies benéficas como las lombrices pueden dominar la biomasa pero no así en los agrosistemas, y que en los agrosistemas pueden dominar las plagas potenciales, esto coincide con lo encontrado en B respecto a los agrosistemas, además, entre los agrosistemas AC presentó un comportamiento similar de macrofauna que B, seguida de ACV y por último AT. Govaerts *et al.* (2006b) encontraron una mayor incidencia de nematodos parasitarios en ACV con rotación y retención de residuos que bajo AC; también Bahena *et al.* (2009) encontraron una menor incidencia de plagas en AC que en ACV. El comportamiento en DP total y de lombrices para AC y ACV coincide con lo reportado (Wilson-Rummenie *et al.*, 1999; Brévault *et al.*, 2005). La mayor abundancia de lombrices en AC está relacionada con la mínima labranza del suelo (Braunack y Magarey, 2002), la disminución de la evaporación e incremento o mantenimiento de la humedad del suelo (Wardle *et al.*, 1995; Wilson-Rummenie *et al.*, 1999; Vázquez, 2003) y mayor disponibilidad de fuentes de carbono (Scheu y Schafer, 1998) como el mulch

(Govaerts *et al.*, 2007b). La mayor diversidad en B que en los agrosistemas coincide con Juárez *et al.* (2011), pero a diferencia de lo reportado para AC respecto a ACV (Brévault *et al.*, 2005), AC (24.57%<B) presenta la menor diversidad, ACV (23.34%<B) un comportamiento intermedio y AT (16.36%<B) la mejor. En cuanto a la riqueza, el comportamiento de esta en B respecto a los agrosistemas, coincide con la relación que el ACP indica junto a la diversidad; sin embargo, al observar sólo los agrosistemas, AC (25.71%<B) y AT (38.57%<B) muestran un comportamiento inverso, mientras que ACV (35.72%<B) el mismo comportamiento intermedio. Al respecto, Brussaard *et al.* (2007) mencionan que después que el ecosistema nativo es sometido a un disturbio tiende a reiniciar la sucesión desde donde quedó o trasciende a un nuevo dominio de estabilidad, como lo observado en las parcelas de AC que, a pesar de no tener la mayor diversidad entre los agrosistemas, estas presentan la mayor riqueza de macrofauna y un comportamiento entre lombrices y plagas potenciales como del ecosistema nativo. Los mismos autores mencionan cuatro retos que conducen la investigación de la biodiversidad del suelo y la sustentabilidad agrícola: a) el entendimiento de la “importancia” de la biosiversidad del suelo para la resistencia o resiliencia contra estrés y disturbios, b) el entendimiento de la “importancia” de la biodiversidad del suelo en el uso sustentable de los recursos, c) el manejo de la biodiversidad y d) la valoración de la biodiversidad del suelo. Sin embargo, el comportamiento de la macrofauna en AC no parece coincidir con lo esperado a pesar que indica haber encontrado una nueva estabilidad, así como tampoco AT presenta un mejoramiento en sus propiedades físicas con la mayor diversidad entre los agrosistemas, aunque sí presenta las mejores propiedades químicas bajo un comportamiento de macrofauna no estabilizado. Es decir, estos tipos de manejo no presentan correlación entre los dos primeros puntos que enlistan Brussaard *et al.* (2007).

14.3.7. Solvencia económica

La Agence Française de Développement y el Fonds Français pour l'Environnement Mondial (2007), Bahena *et al.* (2009) y Govaerts *et al.* (2009) mencionan que agrosistemas como AC presentan mayores ingresos netos que ACV como lo observado aquí, a pesar que sus gastos de consumo intermedio en agroquímicos (CIA) son similares. Los bajos ingresos para los productores de ACV se debe a mayores gastos en CIA y costo de transporte del producto (CTP) donde para el productor 07 representó respectivamente un 25.6% y 38.6% de su producto bruto (PB), para el productor 09 representó respectivamente un 53.3% y 6.6% de su PB. El déficit que presentó el productor 06 de AT está relacionado con una baja producción que genera un bajo PB afectado por la alta depreciación (equivalente a 34.2% de su PB) que incluye herramientas manuales y animales de tracción, e incluir el CTP con precio de oportunidad porque es por carreta propia (equivalente a 147.2% de su PB), a diferencia del productor 21 que no reportó gastos en CTP; no obstante, al diferencia que Astier *et al.* (2003) AT recupera el 100% de la inversión y presenta el menor CIA debido al uso de estiércol. En cambio, para los productores de AC y ACV se incluyó la depreciación de las herramientas, pero no del tractor y tampoco el gasto en diésel porque rentan la maquinaria. En vista de lo anterior, AC satisface más los umbrales del nivel de reproducción social (NRS) debido a que los productores presentaron baja depreciación y CTP, a pesar que presentaron altos CIA, mientras que AT es quien menos satisface los umbrales del NRS debido al déficit del productor 06; además, es necesario que para incluir todos los flujos económicos hay que diferenciar la cantidad de superficie de acuerdo al uso que le den para así estimar la aportación de otros sistemas productivos e incluir los ingresos por actividades secundarias, programas gubernamentales o remesas (Uribe, 2012), y de ser posible evaluar los flujos económicos bajo el enfoque de economía verde (León, 2009), ya que de lo contrario queda subestimado este indicador.

14.4. Relación entre el manejo y la salud del agroecosistema

Para entender el estado que presenta cada factor es necesario saber la ubicación de la parcela en el agroecosistema, conocer su historia, y entender la “racionalidad ecológica” (Gargoloff *et al.*, 2010) y la “conducta sustentable” (Blandi *et al.*, 2013) del productor; todo esto inmerso en las circunstancias que le tocó vivir al productor (Astier *et al.*, 2008; Uribe, 2012). Ya que de acuerdo al ISA_{Amb-Q} la agricultura tradicional presenta las mejores propiedades químicas del suelo para el cultivo de maíz con un pH entre 6 y 6.5, materia orgánica entre 1.3 y 2.1%, nitrógeno entre 0.031 y 0.064%, fósforo entre 17.21 y 38.61 mg Kg⁻¹, potasio entre 0.64 y 1.22 meq K 100 g⁻¹, capacidad de intercambio catiónico entre 6 y 9.2 dS m⁻¹ y conductividad eléctrica entre 0.06 y 0.13 Cmol(+) Kg⁻¹; pero estas parcelas han tenido casi el mismo manejo siempre (excepto desde la introducción de fertilizantes) que ha degradado el recurso suelo principalmente en sus propiedades físicas (Cuadro 48, Figura 11), provocando el dominio de arena en el suelo que somete a estrés hídrico a lombrices y cultivo; además, a pesar de presentar la mayor diversidad de macrofauna entre los agrosistemas ésta no se comporta como en el ecosistema nativo (Cuadro 50, Figura 12), lo que indica que aunque AT se podría considerar un agrosistema maduro, no presenta estabilidad en su recurso biológico del suelo; así mismo en el aspecto socioeconómico no presenta certidumbre de proveer solvencia suficiente para satisfacer las necesidades del productor (Cuadro 52). En cuanto a las parcelas de AC, que originalmente eran de AT y después se convirtieron en ACV, en poco tiempo están mostrando que este tipo de agrosistema promueve una alta generación de biomasa en macrofauna y aunque su diversidad es la más baja, presentan comportamientos similares al ecosistema nativo en cuanto a lombrices y plagas potenciales (Cuadro 50, Figura 12), por lo que habría que considerar si este agrosistema alcanzó su madurez debido a que se percibe estabilidad en su recurso biológico del suelo; además presenta los más altos ingresos para satisfacer las necesidades del productor a pesar de los altos gastos en agroquímicos (Cuadro 52). Por otra parte, la ACV presenta comportamiento de ambos extremos, aunque obtuvo la menor calificación de ISA_{Amb-Q} (Cuadro 43) presenta condiciones adecuadas para el cultivo de maíz, aunque sea más subsidiado en macronutrientes, su recurso biológico presenta comportamientos

parecidos al ecosistema nativo (Figura 12), pero el uso excesivo de maquinaria ha impactado en la estructura de su suelo; y se encuentra en un nivel intermedio de ingresos económicos (Cuadro 52).

De acuerdo con la escala ordinal la agricultura de conservación es el mejor agrosistema para promover la salud del agroecosistema conforme al concepto aquí propuesto a pesar que no todas las variables tienen antecedentes que respalden escalas con rangos, bajo este manejo, el suelo presenta condiciones químicas adecuadas para el crecimiento del maíz con un pH entre 5 y 6, materia orgánica entre 1.04 y 1.82%, nitrógeno entre 0.042 y 0.069%, fósforo entre 27.16 y 49.05 mg Kg⁻¹, potasio entre 0.54 y 1.20 meq K 100 g⁻¹, capacidad de intercambio catiónico entre 5.8 y 13 dS m⁻¹ y conductividad eléctrica entre 0.04 y 0.07 Cmol(+) Kg⁻¹, mientras conserva las propiedades físicas del suelo en condiciones similares al ecosistema nativo con densidad aparente 13% mayor que el testigo, la menor pérdida de volumen por compactación con 6.1%, mulch desde 0.16 hasta 2.32 Kg m⁻² y textura heterogénea, esto también beneficia a la macrofauna ya que se promueve la dominancia de lombrices y la baja incidencia de plagas potenciales, todo esto confiere resiliencia al agroecosistema; además provee solvencia económica al mantener cerca de 59.6% de su producto bruto ligado a un alto rendimiento de grano por hectárea y a que no se incluye depreciación ni gasto en combustible por la renta de maquinaria.

Brévault *et al.* (2005) encontraron efecto significativo de la cobertura y labranza del suelo en los patrones de la actividad biológica, como lo observado aquí principalmente el impacto que tiene transformar el ecosistema nativo para un aprovechamiento agrícola, y aun dentro de los agrosistemas existe diferencia marcada entre AT y ACV respecto a AC. Govaerts *et al.* (2005) analizaron el efecto del laboreo, rotación y el manejo de residuos para la producción de maíz bajo AC y ACV en camas permanentes, donde encontraron efecto significativo del manejo del residuo especialmente para AC ya que es crucial para tener las mejores o las peores propiedades químicas y físicas del suelo; así mismo encontraron el efecto significativo de la rotación entre maíz y trigo para incrementar los rendimientos en los primeros años hasta estabilizarlos. Govaerts *et al.* (2006b) encontraron que las prácticas de AC y ACV influyen la abundancia de nematodos parasíticos e incidencia de raíces podridas. Estos autores mencionan que, si

bien la retención de residuos motiva a aumentar la pudrición de raíces en los primeros tres años, si esta práctica se acompaña de rotación de cultivos, dará lugar a una mayor competencia entre los organismos que ayudará a disminuir las raíces podridas e incidencia de plagas como lo que observaron Bahena *et al.* (2009).

Se observa que el manejo tiene efecto significativo en la salud del agroecosistema de maíz debido a la cantidad de labores y residuos en el suelo (Tremelling *et al.*, 2002; Brévault *et al.*, 2005; Govaerts *et al.*, 2005, 2006a, b, 2007a, b, 2009; Naudin *et al.*, 2005). Aunque el efecto del manejo es diferente para las propiedades químicas y físicas con respecto a las biológicas, ya que en estas últimas es necesario un manejo que promueva la humedad, temperatura y fuente de alimento como el mulch (Lavelle, 1997; Govaerts *et al.*, 2007c) que está fuertemente relacionado con la salud del suelo de cada agrosistema en el incremento de la materia orgánica a causa de la acción de la macrofauna detritívora como cienpies (*chilopoda*), tijerillas (*dermaptera*), milpies (*diplopoda*) y cochinillas (*isopoda*) que comienzan el reciclaje de nutrientes (Brévault *et al.*, 2005), así también la presencia de lombrices promueve la mezcla de la materia orgánica con los componentes minerales y mejora la aireación e infiltración del agua en el suelo (Braunack y Magarey, 2002).

14.5. En cuanto a la metodología

a) Del manejo del agroecosistema

- El IMA presenta una alta especificidad, por lo que trasladar prácticas de manejo desarrolladas para una zona con condiciones ecológicas determinadas, a otra, puede no surtir el mismo efecto esperado (Abbona *et al.*, 2007), por lo que es importante valorar no sólo las prácticas que se emplean sino el impacto de las mismas sobre los recursos naturales en circunstancias particulares.
- De acuerdo con Gargoloff *et al.* (2010) el trabajo realizado por Clavijo Ponce (2007) es parcial debido a que sólo analizó el conocimiento agroecológico y estrategias de manejo a través de las etapas del manejo integrado de plagas, sin

embargo, se observa en la metodología aquí propuesta que la obtención de las escalas es a través de las prácticas encontradas en el área de estudio, por lo que si bien se amplió los aspectos de evaluación (MIN, MIS, MIA, MIPE), la cantidad de indicadores y la variabilidad de los mismos está en relación directa con el nivel de estudio.

- Los resultados del IMA no son para devaluar y menospreciar las prácticas de cada tipo de agrosistema, sino para ubicar y recapacitar las que provocan una baja salud del agroecosistema.
- Al igual que Gargoloff *et al.* (2010), el IMA coincide con la dimensión “Hacer” en que comprende no sólo una descripción de las prácticas de los agricultores, sino que incluye en el valor de su escala, el impacto de las prácticas de manejo sobre el ambiente.
- Por otra parte, a pesar que algunas calificaciones son asignadas arbitrariamente según la percepción del investigador como es el caso del subindicador INT_{USO}, esto puede mejorarse y evitar dicha arbitrariedad, al generar las combinaciones existentes de cultivos para rotación (Cuadro 13) y asignarles una calificación dentro de la escala propuesta, tal como se hizo con MJO_{RSDO}, GDO_{TEC} y CTRL_{ERO}.
- Los indicadores del IMA fueron fáciles de obtener y de interpretar, además la estandarización permite que quien analice los indicadores pueda comprender rápidamente si el valor es deseado o no, independientemente del tipo de actividad.
- A pesar que la escala a la que se estandarizaron los factores de IMA difiere de los trabajos de Gargoloff *et al.* (2010) y Blandi *et al.* (2013) cumple la misma función de proporcionar un número abstracto.
- Es posible que sea útil la ponderación, como el caso del subindicador USO_{YUNT} y USO_{TRAC}, ya que se considera más perjudicial el uso de tractor y por consiguiente tener menor ponderación. Ya que como se observó, la calificación para los productores de AT se vio afectada a pesar que realizan pocas labores con yunta.
- La metodología aquí mostrada se basa en un orden que obtienen las prácticas encontradas en el área de estudio, dependiendo de los beneficios o perjuicios que los mismos causan a los recursos de los que dependen. Por lo que a diferencia

de las metodologías de Gargoloff et al. (2012) y Blandi et al. (2013), se puede clasificar a los productores a través de los valores obtenidos en sus indicadores.

b) De la salud del agroecosistemas

- Los factores considerados dentro del ISA_{Amb-Q} pudieron ser escalados conforme a la metodología propuesta para el IMA, ya que para ellos existe bibliografía que respalde rangos de valores. Son sencillos de interpretar, además la estandarización permite que quien los analice pueda comprender rápidamente si el valor es deseado o no, independientemente de la unidad original en la que se mide.
- Sin embargo, muchas de las propiedades químicas son determinadas por métodos especialmente desarrollados en laboratorio o por aparatos que no serían asequibles para los productores, algo similar sucede con las propiedades físicas, en cambio para las biológicas, a pesar que parece sencillo recolectar bichitos en el suelo, se suma la complejidad de identificar su taxonomía para entender correctamente las interacciones que existen.
- No obstante, debido a que las escalas del ISA_{Amb-Q} están diseñadas para observar la idoneidad del suelo para cultivar maíz, no se pueden tomar de referencia, ya que incluso los sitios del ecosistema nativo no presentan condiciones óptimas para su cultivo.
- Al igual que la metodología del MESMIS (Maserá *et al.* 1999) y la propuesta por Sarandón *et al.* (2014), la metodología aquí desarrollada también carece de la capacidad para representar valores superiores a los de referencia o negativos en una gráfica de telaraña (Brunett, 2004), como los valores de densidad de población y biomasa encontrada en AC que supera al ecosistema nativo y el INAUP del productor 06 con números rojos.
- A diferencia del marco MESMIS que tiende a sufrir un sesgo hacia el sistema de referencia al cual se le atribuye las debilidades y al alternativo las fortalezas, al tomar de referencia al ecosistema nativo se trata de identificar tantas fortalezas

como debilidades en los agrosistemas evaluados a fin de discutir y promover el que más fortalezas presente.

- Similar a lo expuesto por Astier *et al.* (2008) en que la elección y priorización de las debilidades y fortalezas están influenciadas por el mismo equipo evaluador, este primer acercamiento para la evaluación de la salud del agroecosistema, carece de indicadores del ámbito social y cultural.
- Es posible que siguiendo una lógica similar a la de IMA, se pueda armar indicadores sociales a través de combinaciones de actividades encontradas en el área de estudio.

c) En general

- Trabajos previos que han evaluado la sustentabilidad y salud muestran un sesgo hacia indicadores como productividad y aspectos ambientales. Entre los más comunes se incluyen rendimientos e ingresos, para productividad; diversidad y propiedades del suelo para estabilidad, resiliencia y confiabilidad, y dependencia (o independencia) de insumos externos, para el atributo de autogestión. Sin embargo, los indicadores sociales son los menos trabajados.
- De acuerdo con Astier *et al.* (2008), los valores máximos utilizados, fueron de los valores encontrados localmente o bien a metas planteadas por el equipo evaluador y propios productores. Finalmente, la presentación de los resultados no ha logrado relacionar los indicadores a pesar de presentarlos de forma holística a través de gráficas radiales o AMIBA, lo que genera que las recomendaciones sólo sean por cada indicador, sin pasar por la integración. En cuanto a las conclusiones, estas incluyen principalmente la comparación de los sistemas de manejo evaluados y la descripción de los aspectos específicos que fortalecen o debilitan la sustentabilidad en los sistemas de manejo.
- A diferencia de los trabajos discutidos previamente, la metodología aquí propuesta en este primer acercamiento se centra en la evaluación de la degradación de los agrosistemas respecto al ecosistema nativo, que implica la pérdida o deterioro de la base de recursos de la que dependen. A diferencia del marco MESMIS que

identifica las ventajas comparativas del sistema alternativo respecto al de referencia.

- Es inevitable encontrar las contraprestaciones (*trade-offs*) (González *et al.*, 2015) entre indicadores.
- Se coincide con las cuatro estrategias integrales que se han identificado de los trabajos que usan el marco MESMIS (Astier *et al.*, 2008), ya que como se observó aquí la agricultura de conservación propicia la conservación del recurso suelo, principalmente la conservación del mulch.
- Gargoloff *et al.* (2010) abordan un interés similar al del presente estudio puesto que ellos buscaron entender cómo los productores relacionan las prácticas que realizan con la conservación de sus recursos, aunque a diferencia de ellos que evaluaron la percepción que los agricultores tienen de los recursos naturales, aquí se evaluó antes el estado de los mismos a través de la “salud del agroecosistema”.
- Se coincide con Gargoloff *et al.* (2010) en que es necesario transformar los valores de naturaleza en valores claros, sencillos de interpretar, para poder cuantificar y comparar agroecosistemas.
- En cuanto al aspecto cultural si bien puede influenciar el manejo y por consiguiente la salud del agroecosistema, hay que tener precaución durante el tratamiento de la información para identificar prácticas que tienen en común en una misma población y descartarlas en un procedimiento de clasificación utilizando el análisis clúster como herramienta.
- Las metodologías analizadas desarrollan sus indicadores para las dimensiones más comunes de la sustentabilidad (ambiental, económico, socioculturales, ético-político) (Astier *et al.*, 2003; Brunett, 2004; Gargoloff *et al.*, 2010; Aguilar *et al.*, 2011; Castillo *et al.*, 2012; Blandi *et al.*, 2013), de modo que parecen dirigir todos sus esfuerzos en lograr sólo esta propiedad, cuando en realidad todas las dimensiones son parte de la metodología para saber dirigir la evaluación ante la complejidad de la sostenibilidad y salud del agroecosistemas que son propiedades emergentes.
- Los autores que han propuesto metodologías para evaluar la sustentabilidad del agroecosistema, la racionalidad ecológica o conducta sustentable, mencionan la

complejidad de ubicar a los indicadores dentro de sólo una dimensión, ya que estos pueden cumplir con varias de estas, sin embargo, el propósito no debería ser encasillarlos, sino USARLOS para entender el estado en que se encuentran los agroecosistemas. Y en caso de dar seguimiento a los mismos, procurar que sea para un bien común, no para particulares y materialistas.

XV. Conclusiones

Con el análisis de componentes principales se confirmó la capacidad del IMA para identificar y clasificar a los productores a través de las prácticas de manejo que realizan, en un orden acorde a la calificación que obtienen del mismo, aunque no se logró identificar exclusivamente a los productores “puros” de AT y ACV.

De acuerdo con el IMA el agroecosistema estudiado posee un nivel deficiente de 2.58 (Cuadro 35) como reflejo de la diversidad de manejo que en él hay, ya que los productores presentan un deficiente manejo con valores entre 3.37 y 1.72 (Cuadro 33), debido principalmente al uso de herbicidas, la cantidad de labores, el inadecuado manejo de los residuos y densidades de siembra superiores a las recomendadas.

Con el análisis clúster se confirmó la idoneidad de los agrosistemas en las propiedades químicas, además que las unidades de producción se agruparon conforme al tipo de agrosistema, por lo que esta distinción indica que el manejo tiene efecto en las propiedades químicas del suelo y confirma que la metodología propuesta en ISA_{Amb-Q} es sensible porque la cantidad de intervalos permite variación suficiente de las calificaciones para que se detecte diferencia significativa del efecto por el tipo de sistema.

De acuerdo con el ISA_{Amb-Q} los agrosistemas presentan condiciones aceptables para el desarrollo del maíz, con calificaciones entre 3.68 y 3.27 debido una baja cantidad de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico, pH cercanos al neutro y algunas deficiencias en macronutrientes.

Así mismo, la metodología propuesta en ISA_{Amb-Q} demuestra que la generación de escalas con intervalos basados en antecedentes, permite asegurar que la calificación obtenida a través del índice sea una agregación cuantitativa que da una visión general de las propiedades químicas, a diferencia de las propiedades físicas y biológicas para las que se carece de antecedentes.

A diferencia de lo que se esperaba, la agricultura tradicional obtuvo el menor IMA de los agrosistemas estudiados con un promedio de sus productores característicos de 2.87, y a pesar de presentar las mejores propiedades químicas del suelo ($ISA_{Amb-Q}=3.59$) sus propiedades físicas y biológicas indican que es el agrosistema menos saludable, además de la incertidumbre económica relacionada con su rendimiento.

En cambio, la agricultura de conservación obtuvo el mejor IMA con un promedio de sus productores característicos de 3.37 con las mejores propiedades físicas y biológicas del suelo, además de aceptables condiciones químicas ($ISA_{Amb-Q}=3.45$) y los mejores ingresos económicos

En vista de lo anterior, se concluye que existe relación entre el manejo y la salud del agroecosistema, además, está acompañada de contraprestaciones (*trade-offs*) que se reflejan en sus recursos. Por lo que la agricultura sustentable debe promover un manejo que evite el intensivo laboreo del suelo, limiten el uso de maquinaria pesada, promueva la generación del mulch sobre el suelo y el manejo de la biodiversidad dentro y fuera del suelo.

XVI. Recomendaciones

Se recomienda procurar un manejo productivo agroecológico bajo los tres principios enunciados por Girard *et al.* (2015) donde los aspectos centrales son la diversificación biológica en el espacio y tiempo dentro del predio y el mejoramiento de la calidad del suelo (Pérez y Marasas, 2013), pero contemplando la biodiversidad tanto fuera como dentro del suelo.

Algunos autores han enunciado algunas actividades que ayudan a aumentar la abundancia de organismos y contenido de la materia orgánica en el suelo; ya que estas proveen de humedad, temperatura y alimento constante, que son factores importantes para que el agroecosistema no sufra deterioro en su recurso biológico, pero que al mismo tiempo incide en las propiedades físicas y químicas (Juárez *et al.*, 2009, Cuadro 6, p. 48; Bahena *et al.*, 2009)

Trabajos previos han demostrado que AC con camas permanentes, rotación de cultivos y retención de residuos, ayuda estimular la actividad biológica en los microorganismos (Govaerts *et al.*, 2007b) y como se observó aquí, también la macrofauna, especialmente las lombrices. Por lo que una práctica importante es la incorporación de residuos de cosecha para motivar la bioaumentación no sólo de la macrofauna local del suelo (Juárez *et al.*, 2009) sino también de los microorganismos (Govaerts *et al.*, 2007b), como muestra del vínculo de estos con la MO (Pérez y Marsas, 2013). Así como la disminución del laboreo, debido a que permite el incremento de sitios de anidamiento para la macro y microfauna, además que mejora la estructura de la misma comunidad (Sharley *et al.*, 2008), sí solo si, mientras la cobertura de residuos no sea mono-específica (Juárez *et al.*, 2009), esto último a través de una rotación y diversificación de cultivos.

Govaerts *et al.* (2005) enlistan tres razones principales que limitan la adopción de AC por los productores como 1) la carencia de implementos para la siembra en suelos con residuos y sin laboreo, además de desvaradora, 2) la gran demanda de los residuos para forraje y 3) la limitada información para formular prácticas concretas para la conservación de los recursos. De modo que hay que tener cuidado en la fase de adopción de AC especialmente para productores de bajos recursos que adolecen de acceso a la información, equipo y capacitación.

XVII. Literatura citada

ABBONA, ESTEBAN A.; SANTIAGO JAVIER SARANDÓN; MARIANA E. MARASAS; MARTA ASTIER. 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 335- 345.

AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT y FONDS FRANÇAIS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL. 2007. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC): an alternative to conventional cropping systems in developing countries. París, Francia: Les Petites Affiches.

AGUILAR-JIMÉNEZ, CARLOS E.; TOLÓN-BECERRA, ALFREDO; LASTRA-BRAVO, XAVIER. 2011. Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. XLIII, núm. 1: 155-174.

ANCHONDO NÁJERA, ÁLVARO. 2009. Producción agrícola en zonas áridas: un enfoque de sistemas. *Textos universitarios*. Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua y el Sindicato del Personal Académico de la UACH. 112-114.

ANDERSON, J.M. 1994. Functional attributes of biodiversity in land use systems. En: Greenland, D.J., Szabolcs, I. (Eds.), *Soil resilience and sustainable land use*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK: 267-289.

AMÉNDOLA, RICARDO; CASTILLO, EPIGMEIO; MARTÍNEZ, PEDRO A. 2005. *Perfiles por País del Recurso Pastura/Forraje*. Roma, Italia. Oficina de Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión, FAO.

ASTIER CALDERÓN, MARTA; MANUEL MAAS MORENO; JORGE ETCHEVERS BARRA. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36 (5): 605-620.

ASTIER CALDERÓN, MARTA; PÉREZ AGIS, ESPERANZA; ORTIZ, TMARA; MOTA, FLORENTINO. 2003. Sustentabilidad de sistemas campesinos de maíz después de 5 años: el segundo ciclo de evaluación MESMIS. Págs. 39-46, en T. Gianella-Estremis y J. Chavez-Tafur (eds.). *LEISA Revista de Agroecología (edición especial, ocho estudios de caso)*, LEISA, Lima, Perú.

ASTIER CALDERÓN, MARTA; MASERA CERUTTI, OMAR RAÚL; Y. GALVÁN M. 2008. Evaluación de sustentabilidad: Un enfoque dinámico y multidimensional. Barcelona, España: Editorial MundiPrensa.

BAHENA JUÁREZ, FERNANDO; JAIME VELÁSQUEZ GARCÍA; LUIS ENRIQUE FREGOSO TIRADO. 2009. Labranza de conservación y manejo agroecológico de plagas para una agricultura conservacionista. En: Manejo agroecológico de sistemas Vol. I. López-Olguín J. F., A. Aragón G. y A. M. Tapia R. (Eds.). Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. ISBN: 978-607-487-111-1. Puebla, México. Pp. 129-158.

BAKER C.J.; K.E. SAXTON; W.R. RITCHIE; W.C.T. CHAMEN; D.C. REICOSKY; M.F.S. RIBEIRO; S.E. JUSTICE; P.R. HOBBS. 2007. No-tillage seeding in conservation agriculture. C.J. Baker and K.E. Saxton (Eds.). 2nd ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations and CAB International. Oxford, UK: 317.

BALCAZA, L.F. 2009. Causas y manejos de suelos degradados. Boletín Hortícola 42:31-34.

BALVANERA P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. Ecosistemas 21(1-2):136-147.

BARAONA, R. 1987. Conocimiento campesino y sujeto social campesino. Revista Mexicana de Sociología 49 (1): 167-190. En: TOLEDO, V.M. 1992. La racionalidad ecológica de la producción campesina. En: Ecología, campesinado e historia. SEVILLA GUZMÁN, E.; GONZÁLES DE MOLINA, M. (Ed). La Piqueta. Madrid, España: 197-218.

BAUTISTA C., A; J. ETCHEVERS B.; R.F. DEL CASTILLO; C. GUTIÉRREZ. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas 13 (2): 90-97.

BECHT, G. 1974. Systems theory, the key to holism and reductionism. Bioscience 24 (10): 579-596.

BERNAL MENDOZA, HÉCTOR. 2008. Propiedad social y desarrollo: el papel territorial de los actores sociales en la región metropolitana de Puebla. Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. Tesis de doctorado: 280.

BLANCO, YAISYS; y LEYVA, Á. 2007. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. Cultivos Tropicales, vol. 28, núm. 2, 2007, pp. 21-28, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba.

BLANDI, M. L.; PALEOLOGOS, M. F.; SARANDÓN, S. J.; VEIGA, I. 2013. Identificación de impedimentos para avanzar hacia una “conducta sustentable” en pequeños horticultores de La Plata, Argentina. *Cadernos de Agroecología* 8 (2): 1-5.

BONKOWSKI, M., SCHEU, S. y SCHAEFER, M. 1998. Interactions of earthworms (*Octolasion lacteum*), millipedes (*Glomeris marginata*) and plants (*Hordelymus europaeus*) in a beechwood on a basalt hill: implications for litter decomposition and soil formation. *Applied Soil Ecology*, 9, 161 – 166.

Brunett Pérez, L. 2009. Contribución a la evaluación de la sustentabilidad; estudio de caso dos agroecosistemas campesinos de maíz y leche del Valle de Toluca. Edición electrónica gratuita. Texto completo en: www.eumed.net/tesis/2009/lbp/. Consultado el 06 de abril de 2016.

BRUSSAARD, LIJBERT; PETER C. DE RUITER; GEROGE G. BROWN. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agricultural Ecosystems & Environment* 121: 233-244. DOI: 10.1016/j.agee.2006.12.013.

BRUST, G. E.; HOUSE, G. H. 1990. Effects of soil moisture no-tillage and predators on southern corn rootworm *Diabrotica-undecimpunctata-howardi* survival in corn agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 31, 199 – 216.

CASTILLO RODRÍGUEZ, DARÍO; MARÍA TAPIA RODRÍGUEZ; LUIS BRUNETT PÉREZ; OFELIA MÁRQUEZ MOLINA; OMAR TERÁN VARELA; ENRIQUE ESPINOSA AYALA. 2012. Evaluación de la sustentabilidad social, económica y productiva de dos agroecosistemas de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Amecameca, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3): 690-704.

CECCON, ELIANE. 2008. La revolución verde: tragedia en dos actos. *Ciencias* 91: 21-29.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2016. Acerca de nosotros. Nuestra historia. Consultado el 07 de junio de 2016 en: <http://www.cimmyt.org/es/organizacion/>

CLAYTON, M. H., Y RADCLIFFE, N. J. 1996. *Sustainability: A Systems Approach*. Westview Press Inc. Colorado.

CONEVAL. 2015. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Dirección de Información y Comunicación Social. Online:

<http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>. Consultado: 05-05-15

DAMIÁN HUATO, MIGUEL ÁNGEL; CRUZ LEÓN, ARTEMIO; RAMÍREZ VALVERDE, BENITO; JUÁREZ RAMÓN, DIONICIO; ANDRADE RODRÍGUEZ, MARÍA; ESPINOSA ZARAGOZA, SAÚL. 2011. Innovaciones para mejorar la producción de maíz de temporal, en el distrito de desarrollo rural de Libres, Puebla. Puebla, México. Dirección de fomento editorial BUAP.

DAMIÁN HUATO, MIGUEL ÁNGEL; CRUZ LEÓN, ARTEMIO; RAMÍREZ VALVERDE, BENITO; ROMERO ARENAS, OMAR; MORENO LIMÓN, SERGIO y REYER MURO, LUIS. 2013. Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal de México. Colegio de posgraduados, México. Agricultura, sociedad y desarrollo 10 (2): 157-176.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2008. Soil macrofauna field manual. Technical level. (eds.) Ruíz, Nuria; Lavelle, Patrick y Jiménez, Juan. Roma, Italia: 113.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2012. Transición de la quema a la práctica de no quema. Un primer paso para la agricultura sustentable en el corredor seco de Baja Verapaz. Guatemala: FAO.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO: 196-202.

FUNDACIÓN HERDEZ. 2012. El Frijol: Un regalo de México para el mundo.

FUNDACIÓN HOGARES JUVENILES CAMPESINOS (FHJC). 2004. Manual Agropecuario, Tecnologías Orgánicas de la Granja Integral Autosuficiente. Impreso en Colombia: Imprenta Quebecor World Bogotá, S. A.

GARGOLOFF, N. A.; P., RIAT; E. A., ABBONA; SARANDÓN, S. J. 2007. "Análisis de la Racionalidad Ecológica en 3 grupos de horticultores en La Plata, Argentina." V Congreso Brasileiro de Agroecologia, 1 a 4 de outubro de 2007, Guarapari, ES, Brasil. Revista Brasileira de Agroecologia 2 (2): 468-471.

GIRARD, NATHALIE; DANIÈLE MAGDA; CLAUDIA NOSEDA; SANTIAGO SARANDÓN. 2015. Practicing Agroecology: Management Principles Drawn From Small Farming in

Misiones (Argentina). *Agroecology and Sustainable Food Systems* 39 (7): 824-840. DOI: 10.1080/21683565.2015.1020081

GLIESSMAN, S.R. 2002. *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Ann Arbor Press, Michigan.

GONZÁLEZ-ESQUIVEL, C. E.; M. E. GAVITO; M. ASTIER; M. CADENA-SALGADO; E. DEL-VAL; L. VILLAMIL-ECHEVERRI; Y. MERLÍN-URIBE; P. BALVANERA. 2015. Ecosystem service trade-offs, perceived drivers, and sustainability in contrasting agroecosystems in central Mexico. *Ecology and Society* 20 (1): 38. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06875-200138>

GOVAERTS, BRAM. 2003. Soil quality assessment of zero tillage wheat/maize trails in the highlands of Mexico MSc. dissertation, Land Department, Faculty of Applied Biosciences and Engineering, K.U. Leuven, Belgium. pp. 105.

GOVAERTS, BRAM; SAYRE B, KEN D. y DECKERS, JOZEF. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting?. *Field Crops Research* 94, pp. 33-42.

GOVAERTS, B., SAYRE, K. D., y DECKERS, J. 2006a. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research* 87: 163-174.

GOVAERTS, BRAM; MEZZALAMA, M., SAYRE, K. D., CROSSA, J., NICOL, J. M. y DECKERS, J. 2006b. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands. *Applied Soil Ecology* 32: 305-315.

GOVAERTS, B., FUENTES, M., MEZZALAMA, M., NICOL, J. M., DECKERS, J., ETCHEVERS, J. D., FIGUEROA S., B. y SAYRE, K. D. 2007a. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. *Soil & Tillage Research* 94: 209–219.

GOVAERTS, B., MEZZALAMA, M., UNNO, Y., SAYRE, K. D., LUNA G., M., VANHERCK, K., DENDOOVEN, L. y DECKERS, J. 2007b. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. *Applied soil ecology* 37: 18-30.

GOVAERTS, B., SAYRE, K. D., LICHTER, K., DENDOOVEN, L. y DECKERS, J. 2007c. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291: 39-54.

GOVAERTS, B., SAYRE, K. D., GOUDESEUNE, B., DE CORTE, P., LICHTER, K., DENDOOVEN, L. y DECKERS, J. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil & Tillage Research* 103: 222–230.

GONZÁLEZ GAUDIANO, EDGAR. 1999. *El ambiente: mucho más que ecología*. Publicado en el Suplemento Niños de El Universal: 30 de mayo de 1999.

GUTIÉRREZ HERRERA, LUCINO; CUERVO MORALES, MAURO JULIAN; ORTÍZ MENDOZA, ENRIQUE OCTAVIO. 2003. *Regiones naturales y de planeación para el estado de Puebla; Análisis Económico* [en línea]. XVIII (primer semestre) : [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2014] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41303713>

GUZMÁN CASADO, M.; M. GONZÁLEZ DE MOLINA; E. SEVILLA GUZMÁN. 2000. Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. Mundi-Prensa. Madrid. España.

HAMZAN, M.A. y ANDERSON, W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82 (2): 121–145

HERNÁNDEZ XOLOCOTZI, EFRAIM. 1988. La agricultura tradicional en México. *Comercio Exterior* 38 (8): 673-678.

INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010, San Salvador el Seco, Puebla. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx#>

INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). 2000. Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas. Bernier V., Rene; y Bortolameolli S., Giancarlo. (Eds.). *Seria Actas No. 4*. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR25546.pdf>

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2007^a. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Puebla (Período 1961-2003). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación

Regional Golfo Centro, campo experimental Cotaxtla, sitio experimental Teocelo, Veracruz, México. Libro Técnico No. 15.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2007b. Paquetes tecnológicos para maíz de temporal; (Ciclo Agrícola Primavera-Verano) para condiciones de Alto, Medio y Bajo Potencial Productivo. SAGARPA, pp. 37-39.

JUÁREZ JUÁREZ, MINERVA; FRANCO HERNÁNDEZ, MARIA OLIVIA; JAENS CONTRERAS, TERESA; y ASCENCIO RASGADO, VELIA PALMIRA. 2009. Manual de prácticas de laboratorio de química ambiental II. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Interdisciplinaria de Biotecnología, Departamento de Ciencias Básicas.

JUÁREZ RAMÓN, DIONICIO; FRAGOSO GONZÁLEZ, CARLOS; FERRERA CERRATO, RONALD; SANDOVAL CASTRO, ENGELBERTO; TURRENT FERNÁNDEZ, ANTONIO; OCAMPO FLETES, IGNACIO; y OCAMPO MENDOZA, JUVENTINO. 2009. *Procesos biológicos del suelo en la restauración de agroecosistemas*. En: Manejo agroecológico de sistemas Vol. I. López-Olguín J. F., A. Aragón G. y A. M. Tapia R. (Eds.). Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. ISBN: 978-607-487-111-1. Puebla, México. Pp. 37-64.

JUÁREZ RAMÓN, DIONICIO; FRAGOSO GONZÁLEZ, CARLOS; ARAGÓN GARCÍA, AGUSTÍN; HERNÁNDEZ FUENTES, ALMA DELIA; y SALGADO MORA, MARISELA. 2011. Manejo agroecológico de la biodiversidad del suelo. En: Manejo agroecológico de sistemas Vol. II. Aragón G.A., D. Jiménez G. y M. Huertea L. (Eds.). Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. ISBN: 978-607-487-395-5. Puebla, México. Pp. 29-44.

LAVELLE, P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 24: 93-132.

LAVELLE, P., I. BAROIS, E. BLANCHART, G. BROWN, L. BRUSSAARD, T. DECAËNS, C. FRAGOSO, J.J. JIMÉNEZ, K. KAJONDO, M.A. MARTÍNEZ, A. MORENO, B. PASHANASI, B. SENAPATI, C. VILLENAVE. 1998. Las lombrices como recurso en los agroecosistemas tropicales. *Naturaleza y recursos* 1 (34): 28-44.

LAFITTE, H.R. 1994. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de campo. México, D.F.: CIMMYT.

- LEÓN SICARD, TOMÁS ENRIQUE. 2009. Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. *Agroecología* 4. Pp. 7-17.
- LEÓN SICARD, TOMAS ENRIQUE. 2012. *Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas*. La perspectiva ambiental. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Estudios Ambientales. 261 p. (en prensa), capítulo I, pp. 3-32.
- LOREDO OSTI, C.; L. LÓPEZ REYEZ y D. ESPINOSA VICTORIA. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *TERRA Latinoamericana* 22(2): 225-239.
- MARTIN, KONRAD y SAUERBORN, JOACHIM. 2013. *Agroecology*. Springer Dordrecht Heidelberg New York London.
- MASERA CERUTTI, OMAR RAÚL; ASTIER, MARTA; LÓPEZ RIDAURA, SANTIAGO. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS*. México, Mundi prensa, Gira e Instituto de Ecología UNAM.
- MOONEN, A-C. y BÀRBERI, P. 2008. Functional biodiversity: an agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127:7-21.
- Naudin, Krishna; Oumarou Adoum; Guilhem Soutou; Eric Scopel. 2005. Labour biologique contre labour mécanique : comparaison de leurs effets sur la structure du sol au Nord Cameroun. *Agroecologie*
- NICHOLLS, C. I.; MIGUEL ÁNGEL ALTIERI. 2008. Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. *LEISA. Revista de Agroecología* 28 (2): 6-8.
- PAREDES, D., CAMPOS, M. y CAYUELA, L. 2013. El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte. *Ecosistemas*, 22 (1): 56-61.
- PECK, S.L., MCQUAID, B. y CAMPBELL, C.L. 1998. Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. *Environmental Entomology*, 27: 1102 – 1110.
- RAE (Real Academia Española). 2014. Agro. Recuperado el 18 de septiembre de 2014, de: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=agro>.
- RAMOS PRADO, JOSE MARÍA, DEL AMO RODRÍGUEZ, SILVIA; y ARÉVALO RAMÍREZ, JOSÉ A. 1996. Diversidad y tipos de agroecosistemas: consideraciones para diseño, En: Trujillo, J. A. De León, F. G. Calderón, R. A. y Torres, P. L. (Ed.) UAM-

Xochimilco. México. 119-125. Amo del. S. R.; Ramos, P.J. 1994. Desarrollo sostenible de los recursos naturales tropicales. Pronatura, México.

RAUNET, M. y NAUDIN, K. 2006. Combating desertification through direct seeding mulch-based cropping systems (DMC). Les dossiers thématiques du CSFD. N°4. April 2007. CSFD, Montpellier, France. 40 p.

RUÍZ ROSADO, OCTAVIO. 2001. *The systems approach for sustainable development at catchment and parish group levels*. International Journal of Sustainable Development and World Ecology. 8. Pp. 79-84.

RUÍZ ROSADO, OCTAVIO. 2006^a. *Enfoque de sistemas y agroecosistemas*. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico I editor Orlando López Báez... *et. Al.* – Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Universidad Autónoma de Chiapas. Pp. 27-35.

RUÍZ ROSADO, OCTAVIO. 2006^b. *Indicadores de sustentabilidad agroecológica*. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico I editor Orlando López Báez... *et. Al.* – Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Universidad Autónoma de Chiapas. Pp. 59-68.

SARANDÓN, SANTIAGO JAVIER. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En Santiago J. Sarandón (editor): Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Ediciones Científicas Americanas: 393-414.

SARANDÓN, SANTIAGO JAVIER ... (*et al.*). 2014. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Coordinado por Santiago Javier Sarandón y Claudia Cecilia Flores. 1^a edición. Libros de cátedra. Facultad de ciencias agrarias y forestales. Editorial de la Universidad de la Plata. Buenos Aires, Argentina.

SHARLEY, DAVID J., HOFFMANN, ARY A. Y THOMSON, LINDA J. 2008. The effects of soil tillage on beneficial invertebrates within the vineyard. *Agricultural and Forest Entomology*, 10, 233–243

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Maíz grano, año agrícola (OI + PV) 2014, modalidad: riego + temporal, nacional. Recuperado el 16 de abril de 2016, de: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>

SIEBE, CHRISTINA; JAHN, REINHOLD; STAHR, KARL. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Publicación Especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México.

STEVENSON, F.J. y COLE, M.A. 1999. Cycles of soil, carbón, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. Jhon Willey & Sons, Inc, USA.

STINNER, B.R. & HOUSE, G.J. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology*, 35, 229 – 318.

THORBEK, P. y BILDE, T. 2004. Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *Journal of Applied Ecology*, 41, 526 – 538.

TOLEDO, VÍCTOR MANUEL. *Et al.* 1989. La producción rural en México: Alternativas ecológicas. Primera edición. Fundación Universo Veintiuno A. C. México, D.F.

TOLEDO, V.M. 1992. La racionalidad ecológica de la producción campesina. En: *Ecología, campesinado e historia*. SEVILLA GUZMÁN, E.; GONZÁLES DE MOLINA, M. (Ed). La Piqueta. Madrid, España: 197-218.

TOLEDO, VÍCTOR MANUEL. 2002. Agroecología, sustentabilidad y reforma agraria: la superioridad de la pequeña producción familiar. *Revista: Agroecología e Desarrollo Rural Sustentável*, Porto Alegre, v.3, n.2, abr./junh.

TOMICH, THOMAS P; BRODT, SONJA; FERRIS, HOWARD; GALT, RYAN; HORWATH, WILLIAM R.; KEBREAB, ERMIAS; J. LEVEAU, JOHAN H.; LIPTZIN, DANIEL; LUBELL, MARK; MEREL, PIERRE; MICHELMORE, RICHARD; ROSENSTOCK, TODD; SCOW, KATE; SIX, JOHAN; WILLIAMS, NEAL; Y YANG, LOUIE. 2011. *Agroecology: A review from a global-change perspective*. The annual review of environment and resources. 10.1146/annrev-environ-012110-121302.

TORO MÚJICA, P.; GARCÍA, A.; GÓMEZ CASTRO, A.G.; ACERO, R.; PEREA, J. Y RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, V. 2011. Revisión bibliográfica: Sustentabilidad de agroecosistemas. *Archivos de zootécnica* vol. 60 ¿Cuánta, pp. 15-39.

Anne Turbé, Arianna De Toni, Patricia Benito, Patrick Lavelle, Perrine Lavelle, Nuria Ruiz, Wim H. Van der Putten, Eric Labouze, and Shailendra Mudgal. 2010. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment).

TREMELLING, M. J., MCSORLEY, R., GALLAHER, R. N. y TUBBS, R. S. 2002. Effects of cover crop residue management on the soil surface invertebrate community. En: Making Conservation Tillage Conventional: Building a Future on 25 Years of Research. Proc. of 25th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture, ed. E. van Santen, 250-254. Alabama, USA: Alabama Agric. Expt. Stn. and Auburn University.

TURIJÁN ALTAMIRANO, TERESA; MIGUEL ÁNGEL DAMIÁN HUATO; BENITO RAMÍREZ VALVERDE; JOSÉ PEDRO JUÁREZ SÁNCHEZ; NÉSTOR ESTRELLA CHULÍM. 2012. Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (6): 1085-1100.

VADREVU, KRISHNA PRASAD; CARDINA, JOHN; HITZHUSEN, FRED; BAYOH, ISAAC; MOORE, RICHARD; PARKER, JASON; STINNER, BEN; STINNER, DEB; y HOY, CASEY. 2008. *Case study of an integrated framework for quantifying agroecosystem health*. *Ecosystems*. 11: 283-306.

VON BERTALANFFY, L. 1950. The theory of open systems in physics and biology. *Science*. 111: 23-29.

VON BERTALANFFY, L. 1981. General systems theory - a critical review. In: Open Systems Group. (ed). *Systems Behaviour*. 3rd. Edition. Open University Set Book. Chapman Publishing Limited. London.: 60-79.

VON BERTALANFFY, L. 1991. *Teoría General de Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México. pp.311.

VÁZQUEZ ALARCON, ANTONIO. 1999. *Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo*. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. Chapingo, México.

XU, WEI; y MAGE, JULIUS A. 2001. A review of concepts and criteria for assessing agroecosystem health including a preliminary case study of southern Ontario. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 83: 215–233

ZHU, WENFENG; WANG, SONGLIANG; CALDWELL, CLAUDE D. 2012. Pathways of assessing agroecosystem health and agroecosystem management. *Acta Ecologica Sinica*. 32: 9–17.

XVIII. Anexo

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA ENFOCADA A PRODUCTORES DE MAÍZ Y SUS POSIBLES CULTIVOS ASOCIADOS

Entrevistador _____

Fecha (día-mes-año) ____/____/ 2014. Número de entrevista (No.E.) _____

*Nota: Utilizar lápiz o portaminas para llenar.
Cuando haga falta espacio para información, escribir a la vuelta de la hoja, o anexas hojas blancas anotando el inciso que se trata.
Tomar fotografía y video de procesos, tecnología y personas.
Las claves son para referenciar un dato y no repetir el nombre completo.
Georeferenciar con GPS.*

I. Datos generales del entrevistado o entrevistados, y predio.

Nombre _____ Género: M F Edad _____

Población _____ Municipio _____

Superficie agrícola con la que cuenta: _____ has. Totales
Desglosado: Tecnificado _____ has. Temporal _____ has.
Tipo de tenencia: Ejidal Pequeña propiedad
Ubicación geográfica _____ LN y _____ LO _____ msnm.

II. Manejo y salud del agroecosistema

2.1. Sistema de producción

2.1.1. ¿Cómo se llama el sistema de producción que aplica?

a) Agroecológico b) Tradicional c) Labranza de Conservación d) Convencional

Otro (¿cuál?):

2.1.2. ¿Por qué utiliza este sistema?

a) Lo aprendió en cursos/talleres b) Lo aprendió de sus padres c) Lo aprendió de otras personas d) Lo aprendió solo. Otro (¿cuál?):

2.1.3. ¿Cuánto tiempo lleva aplicando este sistema? _____

2.1.4. ¿Cuáles son las principales ventajas que tiene el sistema que utiliza? (describir)

2.3. Manejo del suelo.

2.3.1. Tipo de cultivo: Monocultivo Policultivo (responda lo siguiente)
Descripción de las otras especies (respectiva área sembrada, densidad de siembra, rendimiento)

2.3.2. ¿Cuántos años lleva cultivando este terreno? _____

2.3.3. ¿Le ha dado descanso? No Si ¿Por qué?

2.3.4. ¿Siempre ha sembrado maíz? Si No mencione qué cultivo:

¿Por qué?

2.3.5. ¿Por qué seleccionó la semilla de maíz antes mencionada?

a) Recomendación de un técnico b) Recomendación de conocido

c) La que escogió de la cosecha anterior d) Otro

2.3.6. Densidad de siembra:

Número de semillas por golpe 2 3 4 5 Otro _____

Distancia entre: Surcos 60cm 90cm 1m Otro _____

Mata 20-30cm 30-40cm 40-50cm Otro _____

2.3.7. ¿Dejó de cultivar este ciclo o el anterior alguna parte de su superficie?

No Si ¿Cuanta superficie?

Causas

2.3.8. ¿Qué actividades realiza en el suelo por cada fase del ciclo? (mínimo o reducido laboreo, nulo laboreo en suelo arcilloso húmedo, cultivo de leguminosas, abonos verdes, terrazas, mantillo; *cantidad* aplica en caso de algún agregado).

Clave fase	Labor	Periodicidad [días, meses]	Cantidad [Kg]	Tiempo invertido [hrs]	Forma

2.4. Manejo del agua: ¿Qué actividades realiza respecto al uso del agua? (captación agua pluvial, riego por goteo, cercas vivas para control de sombra)

Clave fase	Labor	Descripción	Periodicidad [hrs, días]	Tiempo invertido [hrs]	Gasto o acopio de agua [m ³ , L]	Costo [\$]

2.5. Control biológico (insectos, hierbas, enfermedades)

2.5.1.1. Especifique el modo de uso de control(es) biológico(s) utilizado(s) en la fase del ciclo correspondiente. (Herbicida, insecticida, fungicida, rotación de cultivo, intercalado)

Clave insumo	Periodicidad [días, meses]	Aplicación		
		Cantidad [mg, mL/L/ha]	Dónde (follaje, tronco, raíz, completo)	Cómo (aspersión, riego, depositado, distribución)

2.5.2. Señale si realiza alguna de las siguientes actividades y complete la información.

- a) Siembra de variedades resistentes a las plagas
(cuáles _____) b) Eliminación de hospedantes que pueden albergar plagas
(cuáles _____)
- c) Identificación de animales enemigos de insectos perjudiciales.
(cuáles _____)
- d) Herbicidas menos tóxicos
(cuáles _____)
- e) Siembra de plantas nativas que atraen a insectos benéficos
(cuáles _____)
- g) Escarda h) Retiro de partes afectadas por enfermedades

2.6. Salud del suelo

2.6.1. ¿Ha observado algún problema en el suelo? (fertilidad, erosión, otro)

No Si ¿Cuál y cuanta superficie?

Causas _____
_____ valor

2.6.2. ¿Afectan el rendimiento de su cultivo? No Si (responda la siguiente pregunta)

2.6.3. Comparado con el año anterior, el rendimiento: mejoró empeoró
(Rendimientos anteriores: _____)

2.7. Biodiversidad (tipos de biodiversidad observada en el sitio)

2.7.1. Fauna:

2.7.2. Flora

2.7.2.1. Maderables: _____

2.7.2.2. Frutales: _____

2.7.2.3. Medicinales: _____

2.7.2.4. Hierbas comestibles: _____

2.8. Economía

2.8.1. Valor de la tierra (m²) \$ _____

2.8.2. Valor de la producción \$ _____

2.8.3. Inversión en instrumentos de trabajo (maquinaria, machetes, palas, etc.):

\$ _____

2.8.4. Gastos en mantenimiento de equipo (anual) \$ _____

2.8.5. Arrendamiento (ha) \$ _____

2.9. Organización social: Participación en algunas de las siguientes actividades.

Independiente ONG Partido político Actividades culturales

Asociación religiosa Otro (cuál) _____

3. Análisis, comparación y propuesta (opinión del productor)

3.1. ¿Conoce usted algún otro tipo de sistema de producción? NO SI (prosiga)

¿Cuál? _____

3.2. ¿Qué opina sobre dicho manejo?

3.3. ¿Por qué no la ha adoptado?

Fecha y hora de conclusión del cuestionario: _____