

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 08 del mes de enero del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: **“Labranza y sostenibilidad de uso del suelo en agroecosistemas del Valle de Etlá. Oaxaca”**

Presentada por el alumno:

López

Apellido paterno

Martínez

materno

Moisés Caleb

nombre(s)

Con registro:

B	0	6	1	4	1	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA
Director de tesis

Dr. Jaime Ruiz Vega

Dr. Celerino Robles Pérez

Dr. José Luis Chávez Servía

M. en C. Laura Martínez Martínez

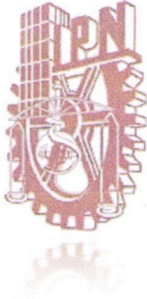
Dra. Martha Angélica Bautista Cruz

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Juan Rodríguez Ramírez



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.



Instituto Politécnico Nacional
Secretaría de Investigación y Posgrado

Carta Cesión de Derechos

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 08 de enero del año 2010, el que suscribe Moisés Caleb López Martínez, alumno del programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**, con número de registro **B061418**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. Jaime Ruiz Vega, y cede los derechos del trabajo titulado: **“Labranza y sostenibilidad de uso del suelo en agroecosistemas del Valle de Etla, Oaxaca”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**. Email: posgradooax@ipn.mx ó calebloma@yahoo.com . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

MOISÉS CALEB LÓPEZ MARTÍNEZ



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR
UNIDAD OAXACA
IPN.

LA PRESENTE TESIS, TITULADA “LABRANZA Y SOSTENIBILIDAD DE USO DE SUELO EN AGROECOSISTEMAS DEL VALLE DE ETLA, OAXACA”, FUE REALIZADA GRACIAS AL FINANCIAMIENTO DE LA FUNDACIÓN PRODUCE OAXACA A. C., A TRAVÉS DEL PROYECTO: “TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES DE LABOREO PARA MEJORAR LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA” (FOLIO 20-2005-2599).

Resumen

Se establecieron cuatro parcelas de observación en terrenos con maíz de temporal bajo diferentes sistemas de labranza en las localidades de Guadalupe y San Gabriel, Etla. Los indicadores de crecimiento y desarrollo de los cultivos se relacionaron directamente con los contenidos de humedad del suelo y grado de marchitez. La parcela donde el laboreo se realizó totalmente con tracción animal, o parcela sostenible, presentó los mayores valores de indicadores de calidad del suelo y salud del cultivo. Los indicadores de sostenibilidad socioeconómica mostraron que la tracción animal se adecua bien a las circunstancias particulares de los agricultores minifundistas. Los rendimientos estimados en dos de los sitios indican que existió déficit de humedad en las siembras de fines de abril y principios de mayo. Los análisis de suelos mostraron contenidos de altos a medianos de materia orgánica total (MOT), observándose los mayores valores en la parcela sostenible. Sin embargo, la presencia de agregados estables al agua no se relacionó con la MOT. Se concluye que es necesario promover la mecanización gradual a través del rediseño de aperos para una mayor eficiencia de uso de la energía animal, así como la introducción de maquinaria sencilla para la siembra y la cosecha de los cultivos básicos.

Abstract

It established four observation plots on land with corn time under different tillage systems in the towns of Guadalupe and Santa Cruz, Etlá. The indicators of growth and crop development was directly related to the Soil moisture content and degree of wilting. The plot where the tillage was done entirely with animal traction, or plot development, presented the highest values of indicators of soil quality and health the crop. The socio-economic sustainability indicators showed that animal traction is well suited to the particular circumstances of smallholder farmers. The estimated yields in two of sites indicate that there was moisture deficit plantings late April and early May. The soil analysis showed high to medium content of total organic matter (TOM) the highest values observed in the plot development. However, the presence of water stable aggregates was not related to the TOM. It concludes that it is necessary to promote the gradual mechanization through redesign of tools for more efficient use of animal power, and the introduction of simple machinery for planting and harvest of staple crops.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CIIDIR UNIDAD OAXACA

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

ÁREA DE PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL

**LABRANZA Y SOSTENIBILIDAD DE USO DE SUELO EN AGROECOSISTEMAS DEL
VALLE DE ETLA, OAXACA.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS PRESENTA:**

MOISÉS CALEB LÓPEZ MARTÍNEZ

SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN, OAXACA.

ENERO 2010

Índice

Introducción	3
Objetivos	5
<i>Objetivo general</i>	<i>5</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>5</i>
Marco teórico	6
<i>Agroecosistema</i>	<i>8</i>
<i>Sistema Suelo</i>	<i>8</i>
<i>Sistema de Labranza</i>	<i>14</i>
<i>Sostenibilidad de uso del suelo</i>	<i>15</i>
<i>Indicadores</i>	<i>18</i>
<i>Metodología</i>	<i>19</i>
<i>Descripción de la zona de estudio</i>	<i>19</i>
Resultados	23
Discusión	34
Conclusiones	35
Bibliografía	36
<i>Anexos</i>	<i>39</i>

Introducción

A nivel nacional, las actividades agrícolas representan la principal fuente de empleo y alimento para la población y en los últimos años se ha puesto especial atención en las condiciones en las cuales se están llevando a cabo dichas actividades, lo anterior en virtud del deterioro presentado por la mayoría de los agroecosistemas, el cual ha sido generado en parte por la implementación de sistemas de producción intensivos, así como del uso de una mayor cantidad de insumos para mantener los estándares de producción de los cultivos. De la misma manera, en el estado de Oaxaca se ha observado dicho fenómeno y a la par de éste se observa en el medio rural un decremento importante en los rendimientos obtenidos en diversos sistemas de producción agrícolas generando un impacto tanto social como económico en la población más desprotegida.

Para poder profundizar en el estudio de las condiciones de los suelos en diferentes agroecosistemas es necesario conocer de manera general las características del sistema suelo, así como su relación con los factores ambientales, sociales y económicos en el que se desarrollan las actividades agrícolas, esto poniendo especial atención en el uso y aplicación de un término que en la actualidad se vincula con aspectos relacionados con las actividades agrícolas y su impacto en las condiciones de la población a lo largo del tiempo, dicho término es el de *sostenible* (o sustentable), el cual surge a partir de la cumbre de Río (1987) y se define como: ***“Satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”***.

Es importante conocer este término y también buscar alternativas para llevarlo a la práctica en los diversos sistemas de producción agrícola, tanto a nivel nacional como estatal, debido a que el sistema suelo ha presentado un deterioro acelerado en las últimas décadas, propiciado por fenómenos tales como: Erosión, degradación, compactación, salinización, entre otros, poniendo en riesgo la disponibilidad de alimentos en un futuro cercano. Altieri (1995) define que los componentes funcionales de un agroecosistema se relacionan a los flujos de energía, nutrientes, materia y especies biológicas, los cuales han sido perturbados de manera significativa por el ser humano en todo el mundo, muestra evidente de ello son las graves afectaciones a los agroecosistemas y de manera particular a los suelos de todo el mundo.

Es importante destacar que en la actualidad, los sistemas de producción agrícolas han contribuido en dicho deterioro debido a que en la mayoría de los casos se hace uso de sistemas de producción intensivos, con utilización de maquinaria pesada y uso de insumos agrícolas para conseguir los rendimientos deseados, sin reparar en la afectación a los agroecosistemas de manera integral.

Conocer las condiciones actuales de un agroecosistema posibilitará la definición de líneas de acción que busquen fomentar la conservación de los recursos y de manera especial el recurso suelo, para lo cual generalmente existen sistemas de evaluación de impacto que utilizan diferentes metodologías involucrando valoraciones objetivas y/o subjetivas del impacto de las prácticas de manejo utilizadas o del estado de los recursos, y mayoritariamente terminan en la elaboración de indicadores o índices que reflejan dichas valoraciones en forma cuantitativa.

Justificación

Las prácticas y sistemas de labranza utilizados a nivel local han provocado en algunos de los casos el deterioro de los sistemas de producción, esto a través de la afectación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del factor suelo y en general de las condiciones medioambientales de las zona, de ahí la importancia de seleccionar los sistemas de labranza más adecuados, así como las prácticas agrícolas que ayuden a mejorar las condiciones de los agroecosistemas, los cuales habrán de estar en función de factores tales como el suelo, clima y cultivo. Es importante mencionar es trascendental conocer las condiciones sociales, económicas y ecológicas, lo cual incidirá de manera directa en las preferencias del agricultor. Aunque en algunos casos hay agricultores con disposición a probar nuevos sistemas de labranza, y con capacidad de ajustarlos a sus condiciones específicas y capacidad productiva, en otros, la tradición juega un papel de gran importancia en la selección final de los sistemas de labranza. Factores como tenencia de la tierra, posibilidad de adquirir o poseer implementos de labranza y de contratar mano de obra, así como el número de miembros adultos de una familia disponible para labores de campo, determinan frecuentemente el interés y disposición a adoptar o probar las prácticas y sistemas de labranza recomendados. En cualquier caso, para la introducción, adopción, y uso de prácticas de labranza nuevas o mejoradas, se requiere el convencimiento de que las medidas son necesarias. Esto será más fácil si los sistemas de labranza seleccionados se acoplan al sistema de producción y secuencia de cultivos del agricultor. En general, en el desarrollo y selección de sistemas mejorados de labranza, debe darse más atención a las prácticas desarrolladas por los mismos agricultores y que hayan demostrado su efectividad tanto en la producción de cultivos como en la conservación de suelos y agua.

Objetivos

Objetivo general

Describir el estado actual del suelo en cuatro agroecosistemas de la región de Valles Centrales, Oaxaca, así como la relación existente entre las características de los sistemas de labranza utilizados y las condiciones del suelo en ellos.

Objetivos Específicos

1. Describir las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos de 4 agroecosistemas.
2. Conocer las características de los sistemas de labranza utilizados, así como de los sistemas de producción agrícola.
3. Conocer las interacciones existentes entre los sistemas de labranza utilizados y las condiciones del suelo.
4. Evaluar el impacto de los sistemas de labranza en los suelos de los agroecosistemas estudiados.

Marco teórico

El concepto de sostenibilidad de uso de suelo es una respuesta relativamente reciente a la declinación en la calidad de este recurso natural asociada con la agricultura moderna. En la actualidad, la cuestión de la producción agrícola ha evolucionado desde una forma puramente técnica hacia una más compleja, caracterizada por dimensiones sociales, culturales, políticas y económicas. El concepto de sostenibilidad, aunque controvertible y difuso debido a la existencia de definiciones e interpretaciones conflictivas de su significado, es útil debido a que captura un conjunto de preocupaciones acerca de la agricultura, la que es concebida como el resultado de la coevolución de los sistemas socioeconómicos y naturales (Reijntjes et al., 1992). Un entendimiento más amplio del contexto agrícola requiere el estudio de la agricultura, el ambiente global y el sistema social, teniendo en cuenta que el desarrollo social resulta de una compleja interacción de una multitud de factores. Es a través de esta más profunda comprensión de la ecología de los sistemas agrícolas, que se abrirán las puertas a nuevas opciones de manejo que estén más en sintonía con los objetivos de una agricultura verdaderamente sostenible.

El concepto de sostenibilidad ha dado lugar a mucha discusión y ha promovido la necesidad de proponer ajustes mayores en la agricultura convencional para hacerla ambientalmente, socialmente y económicamente más viable y compatible. Se han propuesto algunas posibles soluciones a los problemas ambientales creados por los sistemas agrícolas intensivos en capital y tecnología basándose en investigaciones que tienen como fin evaluar sistemas alternativos (Gliessman, 1998). El principal foco está puesto en la reducción o eliminación de agroquímicos a través de cambios en el manejo, que aseguren la adecuada nutrición y protección de las plantas a través de fuentes de nutrientes orgánicos y un manejo integrado de plagas, respectivamente.

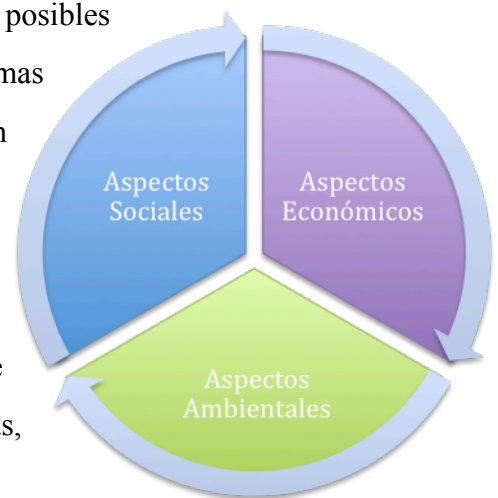


Fig. 1. Esquema básico del desarrollo sostenible

A pesar que han tenido lugar cientos de proyectos orientados a crear sistemas agrícolas y tecnologías ambientalmente más sanas, y muchas lecciones se han aprendido, la tendencia es aún altamente tecnológica, enfatizando la supresión de los factores limitantes o de los síntomas que enmascaran un sistema productivo enfermo. La filosofía prevaleciente es que las plagas, las deficiencias de nutrientes

u otros factores son la causa de la baja productividad, en una visión opuesta a la que considera que las plagas o los nutrientes sólo se transforman en una limitante, si el agroecosistema no está en equilibrio (Carrol et al., 1990). Por esta razón, todavía persiste y prevalece la visión estrecha que la productividad es afectada por causas específicas y por lo tanto, que la solución de estos factores limitantes, mediante nuevas tecnologías, continúa siendo el principal objetivo. Esta visión ha impedido a los agrónomos darse cuenta que los factores limitantes, sólo representan los síntomas de una enfermedad más sistémica inherente a desbalances dentro del agroecosistema y han provocado una apreciación del contexto y la complejidad del agroecosistema que subestima las principales causas de las limitaciones agrícolas.

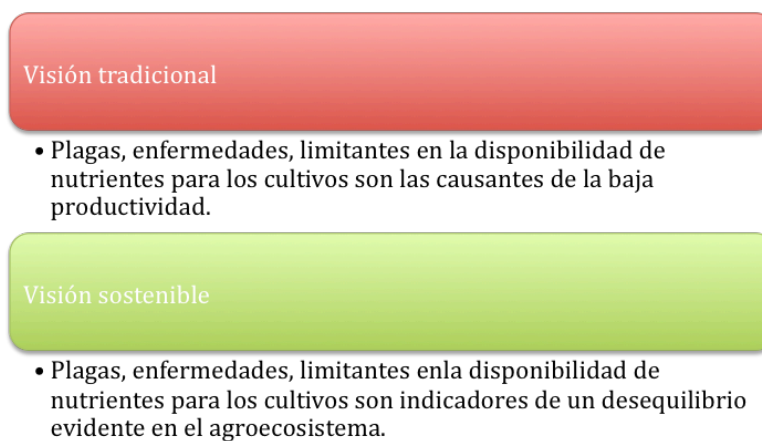


Fig. 2. Contraste entre visión de la producción agrícola tradicional y la sostenible

Parte importante de este trabajo se enfoca en conocer las características específicas de los agroecosistemas observados y de manera particular en las condiciones del suelo y a partir de esto, poder sentar las bases para el establecimiento de mejoras en los sistemas agrícolas complejos en los cuales, las interacciones ecológicas y los sinergismos entre sus componentes biológicos proveen los mecanismos para que los sistemas subsidien la fertilidad de su propio suelo, la productividad y la protección de los cultivos.

Agroecosistema

De acuerdo con la definición de Soriano y Aguilar (1998), un agroecosistema puede ser entendido como un ecosistema que es sometido por el hombre a frecuentes modificaciones de sus componentes bióticos y abióticos. La implantación de agroecosistemas es un fenómeno ampliamente extendido, a tal punto que de todas las acciones humanas que modifican el ambiente, el establecimiento de agroecosistemas es por mucho el que afecta a la mayor superficie (Solbrig, 1999). En efecto, según estimaciones recientes, más de la mitad de la superficie de la corteza terrestre ha sido destinada a la práctica de la agricultura (12%), la ganadería (25%) o la plantación de bosques artificiales (15%).

A nivel nacional, el ejemplo más claro de un agroecosistema es el conocido como Milpa, que es un sistema de producción agrícola desarrollado desde épocas pasadas con el propósito de ser la base y satisfacer las necesidades de alimento. En la actualidad, dicho sistema de producción se encuentra en riesgo de quedar en el olvido debido a aspectos económicos y sociales que promueven el abandono de las actividades agrícolas en las comunidades rurales.

Prácticamente todos los ecosistemas de la tierra han sido transformados de forma significativa por las actividades humanas, y los cambios han sido especialmente rápidos en los últimos 50 años. Hoy en día, las transformaciones más rápidas están teniendo lugar en los países en vías de desarrollo, generando que los ecosistemas se vean particularmente afectados por las actividades agrícolas, que buscan conseguir satisfacer la demanda cada vez mayor de alimentos.

Sistema Suelo

El desarrollo agrícola involucra la administración de varios recursos adicionales al cultivo y afecta aspectos de la vida social humana que van mucho más allá del mero aumento de la producción (Gliessman, 1998). De manera particular, el suelo es un factor de suma importancia al estudiarse los agroecosistemas. Los suelos, que siguen siendo el principal



Fig. 3. Esquema básico del suelo

sustento para el desarrollo de las actividades agrícolas, están formados por cuatro componentes básicos: minerales, aire, agua y materia orgánica. En la mayoría de los suelos, los minerales representan alrededor del 45% del volumen total, agua y aire cerca de 25 % cada uno, y materia orgánica entre 2 y 5 %. La porción mineral consiste en tres distintos tamaños de partículas clasificadas como arena, limo y arcilla. La arena es la partícula mas grande que se puede considerar como suelo.

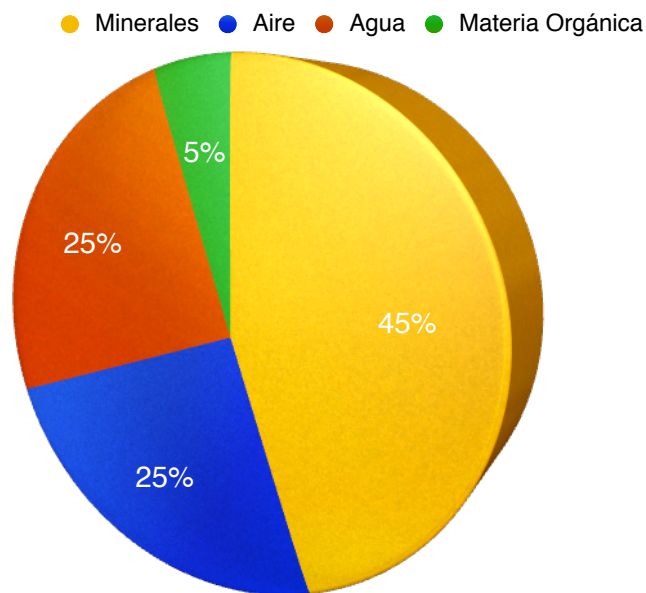


Fig. 4. Componentes básicos del suelo

La arena está integrado en su mayor parte por cuarzo, aunque otros minerales también están presentes. El cuarzo no contiene nutrientes para las plantas, y la arena no puede almacenar nutrientes, debido a que las cargas eléctricas que presentan son escasas y por lo tanto, la diferencia de cargas para retener los cationes son nulas. Las partículas de limo son mucho mas pequeñas que las de arena, pero al igual que las arenas, están compuestas en su mayoría por cuarzo. Por el contrario a las partículas anteriores, las arcillas contienen cantidades apreciables de nutrientes para las plantas, así como una gran superficie de contacto y por lo tanto se cargan eléctricas que permiten una retención adecuada de nutrientes que

posteriormente serán liberados para la utilización por las plantas.

Textura del suelo.

La textura del suelo se refiere a las porciones relativas de arena, limo y arcilla. Un suelo franco, contiene estos tres tipos de partículas en partes iguales aproximadamente. Un franco arenoso es una mezcla que contiene una gran cantidad de arena y menos cantidad de arcilla, mientras que uno franco arcilloso contiene grandes cantidades de arcilla y menos cantidad de arena.

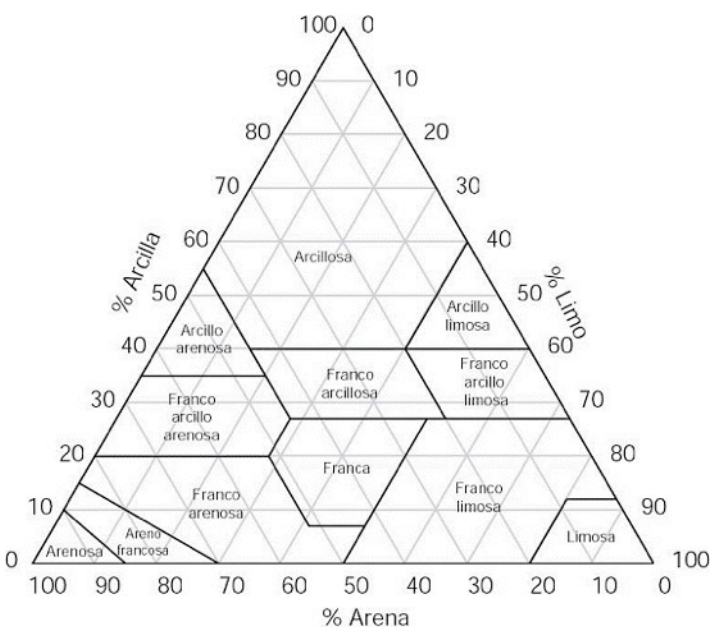


Fig. 5. Triángulo de texturas del suelo

Estructura del suelo

La estructura del suelo se refiere a como se aglomeran o a la “reunión” de arena, limo y arcilla en terrones secundarios mayores. Si se toma un puñado de tierra, es aparente la buena estructura cuando se deshace fácilmente en la mano. Esta es una indicación de que las

deshace fácilmente en la mano. Esta es una indicación de que las partículas de arena, limo y arcilla están reunidas en gránulos o migajas grandes.

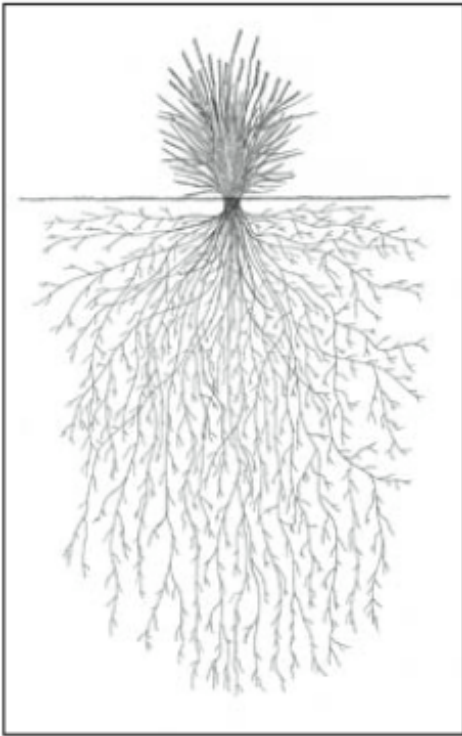


Fig. 6. Efecto de estructura adecuada del suelo

Tanto la textura como la estructura determinan el espacio de poros para la circulación de aire y agua, resistencia a la erosión, soltura, facilidad para ararse y penetración de las raíces. Aunque la estructura está relacionada a los minerales en el suelo y no cambia con las actividades agrícolas, la estructura se puede mejorar o destruir fácilmente con la selección y duración de prácticas agrícolas.

Biodiversidad del suelo

El suelo se debe mirar como una comunidad viviente más que como un cuerpo inerte. La materia orgánica del suelo también contiene organismos muertos, materia vegetal, y otros materiales orgánicos en varias etapas de descomposición. Humus, la materia orgánica oscura en los estados finales de descomposición, es relativamente estable. Tanto la materia orgánica como el humus sirven de reserva de nutrientes para plantas y proveen otros beneficios.

En realidad, la capa superior del suelo, es la parte más diversa de la tierra. Los organismos que viven en el suelo sueltan minerales, convirtiéndolos en formas utilizables por las plantas, y estos son entonces absorbidos por las plantas que crecen en el sitio. Los organismos reciclan nutrientes una y otra vez con la muerte y pudrición de cada nueva generación de plantas.

Hay gran diferencia de tipos de organismos que viven en o sobre la capa superior del suelo. Cada uno tiene un papel que jugar. Estos organismos trabajarán para el beneficio del agricultor si sólo nos preocupamos de que sobrevivan. Por consiguiente, nos podemos referir a estos como el ganado del suelo. Mientras una gran variedad de organismos contribuyen a la fertilidad de la tierra, las lombrices

de tierra, artrópodos y varios microorganismos merecen atención particular. Los túneles de las lombrices mejoran la filtración de agua y la aeración del suelo. Los campos que son “labrados” por los túneles de las lombrices pueden absorber agua en una cantidad de 4 a 10 veces más que la de los campos que no tienen estos túneles (Edwards, 1996). Esto reduce el escurrimiento de agua, recarga la capa subterránea, y ayuda a guardar más agua para períodos secos.

Los túneles verticales cavados por las lombrices llevan aire a la profundidad del suelo, estimulando el ciclo de nutrientes microbiales a esas profundidades. Cuando las lombrices están presentes en gran número, el labrado proveído por sus túneles puede reemplazar algo de la labranza hecha a través de medios mecánicos. Las lombrices comen el material vegetal muerto, o detrito vegetal, que se acumula sobre el suelo y redistribuyen la materia.

Los organismos que no están directamente involucrados en descomponer desechos de plantas se pueden alimentar de aquellos o de los productos de desecho de éstos u otras sustancias que liberan. Entre las sustancias liberadas por los varios microbios hay vitaminas, aminoácidos, azúcares, antibióticos, gomas y ceras. Las raíces también pueden liberar en el suelo varias sustancias que estimulan los microorganismos del suelo. Estas sustancias sirven como alimento a organismos selectos. Algunos científicos y practicantes teorizan que las plantas usan estos medios para estimular las poblaciones específicas de microorganismos capaces de liberar o de otra manera producir el tipo de nutrientes necesarios para su consumo.

Materia orgánica

Comprender el papel que juegan los organismos del suelo es crítico al manejo de suelos sostenibles. Basado en este entendimiento, el enfoque puede ser dirigido hacia estrategias que aumenten tanto el número como la diversidad de los organismos del suelo. Igual que el ganado y otros animales domésticos, el ganado del suelo requiere alimento apropiado. Este alimento viene en la forma de materia orgánica.

Materia orgánica y humus son términos que describen cosas algo diferentes pero relacionadas entre sí. La materia orgánica se refiere a la fracción del suelo que está compuesta tanto de organismos vivos como de residuos muertos en varios estados de descomposición. Humus es sólo una pequeña porción

de la materia orgánica. Es el producto final de la descomposición de la materia orgánica y es relativamente estable. La continuación de la descomposición del humus ocurre muy lentamente en ambientes agrícolas y naturales. En sistemas naturales, se alcanza un balance entre la cantidad de formación de humus y la cantidad de descomposición de este (Jackson, 1993). Este balance también ocurre en la mayoría de los suelos agrícolas, pero a menudo con un mucho menor nivel de humus en el suelo. Las mejoras a la estructura física del suelo facilitan el labrado, aumentan la capacidad para almacenar el agua, reducen la erosión, mejoran la formación y cosecha de cultivos de tubérculos, y producen sistemas de raíces más profundos y prolíficos en las plantas.

pH del Suelo

El pH del suelo es importante porque los vegetales sólo pueden absorber a los minerales disueltos, y la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales. Por ejemplo, el aluminio y el manganeso son más solubles en el agua del suelo a un pH bajo y al ser absorbidos por las raíces son tóxicos a ciertas concentraciones. Determinadas sales minerales que son esenciales para el crecimiento vegetal, como el fosfato de calcio, son menos solubles a un pH alto, lo que hace que esté menos disponible para las plantas.

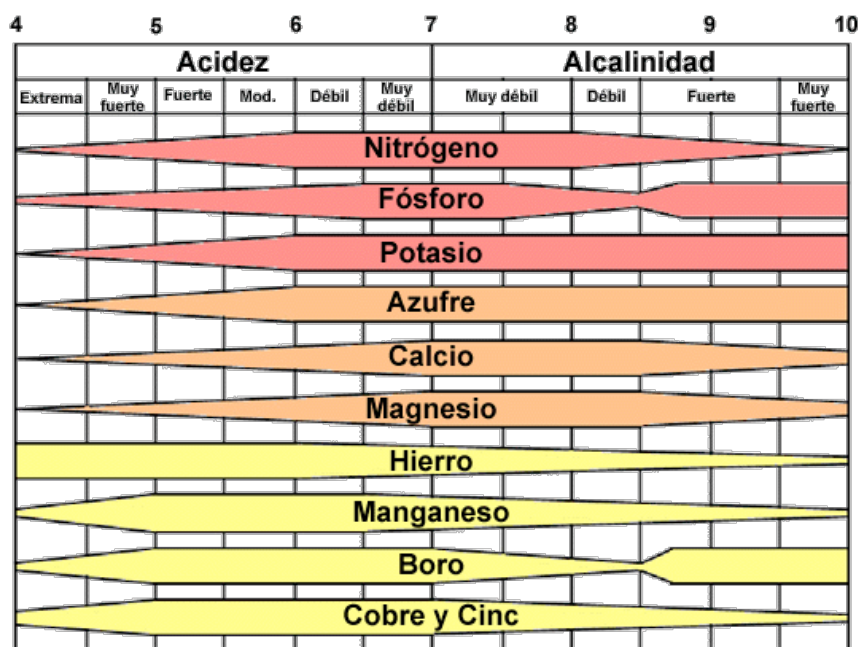


Fig. 7. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes

También el pH del suelo afecta al proceso de lixiviación de las sustancias nutritivas para las plantas. Un suelo ácido tiene una capacidad menor de retención catiónica porque los iones hidrógeno desplazan a los cationes como el de potasio y el de magnesio.

En un suelo con pH ácido, los iones H^+ reemplazan a los de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , los cuales son posteriormente lavados del suelo, disminuyendo la riqueza de nutrientes disponibles.

Nutrientes del Suelo

Son 13 los elementos químicos esenciales que cualquier planta necesita para vivir y desarrollarse correctamente. Todos ellos los toman del suelo disueltos en el agua que absorben por las raíces.

Se diferencian dos grupos de nutrientes:

Macronutrientes: Son aquellos que las plantas absorben en grandes cantidades. Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S)

Micronutrientes: Absorbidos en menor proporción, pero igualmente necesarios. Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Cloro (Cl)

Todos estos elementos están presentes en el suelo en mayor o menor cantidad, pero en ocasiones la concentración de alguno de ellos disminuye o la planta no lo puede absorber. Cuando esto sucede se produce la carencia, y con ella aparecen los síntomas.

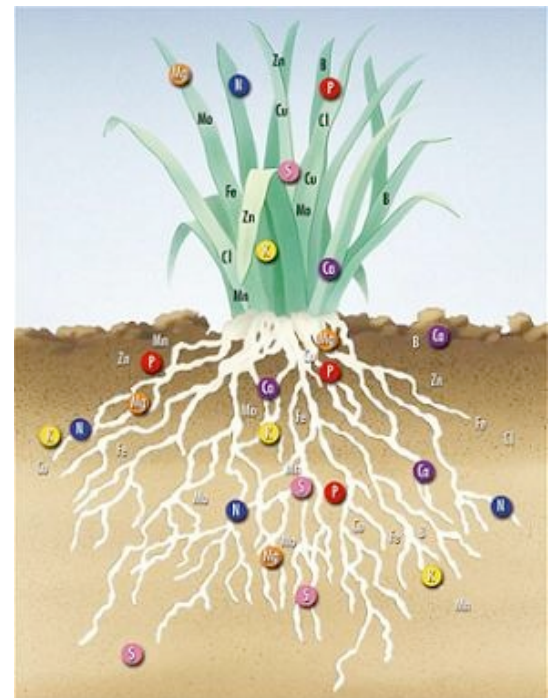


Fig. 8. Principales Nutrientes de los cultivos

Sistema de Labranza

De acuerdo a Mannering y Fenster (1983), el sistema de labranza (SL) puede definirse como el conjunto de operaciones mecánicas realizadas para preparar una cama de siembra, establecer, desarrollar y cosechar un cultivo dado en una región geográfica determinada. Dentro de este concepto podemos considerar actividades tales como el barbecho, arado, surcado, aporque, deshierbe, entre otras operaciones contempladas dentro de los sistemas de producción de la zona de estudio.

La labranza es la condición física del suelo en relación a la facilidad del labrado, facilidad de emergencia de las plántulas, y penetración profunda de las raíces. La buena labranza depende de la agregación, proceso en el cual las partículas individuales del suelo se juntan en racimos o “agregados.” Los agregados se forman en el suelo cuando partículas del suelo individuales son orientadas y aglomeradas por la fuerza física de mojarse y secarse o congelarse y descongelarse. Las fuerzas eléctricas débiles de calcio y magnesio mantienen las partículas del suelo juntas cuando éste se seca. Sin embargo cuando estos agregados se mojan de nuevo, su estabilidad es desafiada y se pueden separar.

El objetivo principal de los SL es modificar por medios mecánicos las condiciones físicas originales del suelo para mejorarlas, de acuerdo a los fines perseguidos. La labranza tiene efectos directos sobre los procesos y propiedades físicas del suelo, e indirectos sobre el crecimiento de los cultivos. A pesar de que los principios en los que se sustentan los diferentes SL son los mismos independientemente de otros factores, los sistemas apropiados para cada situación son específicos para suelos y cultivos, y su adaptación depende de factores biofísicos y socioeconómicos (Karwasra, 1991).

El SL a seleccionar debe además de incrementar los rendimientos del cultivo, reducir los riesgos de producción, facilitar la conservación de suelos y agua, mejorar el desarrollo del sistema radicular, mantener niveles adecuados de materia orgánica, y controlar o revertir procesos de degradación. Para ello es fundamental conocer los efectos de cada uno, los cuales estarán íntimamente ligados con la intensidad de uso, así como con factores climáticos, de suelos, y de cultivos. “Un adecuado conocimiento de los suelos, clima y sistemas de cultivo utilizados por el agricultor, es indispensable para el desarrollo y selección para cada situación”(Boone 1988).

Entre los factores a considerar en la selección y aplicación de un SL podemos mencionar los siguientes:

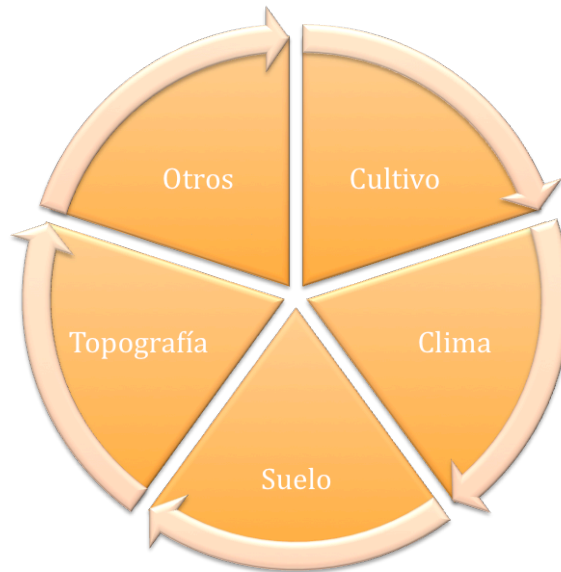


Fig. 9. Factores que influyen en el SL utilizado

Cada uno de ellos con características especiales para un sitio determinado, lo que nos lleva a pensar en SL específicos para cada sitio de estudio, buscando de esta manera un mejor aprovechamiento de los recursos enfocados a que los sistemas de producción puedan permanecer a lo largo del tiempo y de esta manera poder disfrutarlos las generaciones futuras.

Aún a pesar del amplio estudio de la necesidad de diseñar las condiciones específicas de cada SL en función de las características ya mencionadas es necesario mencionar que en la mayoría de los casos, sus características están condicionadas por aspectos económicos y de disponibilidad de mano de obra, instrumentos y equipo de labranza, y no por las características propias de cada agroecosistema.

Sostenibilidad de uso del suelo

El desarrollo sostenible se entiende como “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (World Commission on Environment and Development, 1987). A partir de la definición anterior se deriva la definición de uso sostenible de suelo como “el manejo del suelo que permite satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades

relacionadas con el suelo”, por lo tanto, el uso del suelo es sostenible cuando no se altera la capacidad de dicho sistema para proveer necesidades futuras (Smith y Powlson, 2005).

La sostenibilidad de uso del suelo puede ser amenazada por diversas prácticas de manejo, dentro de las cuales podemos mencionar la sobreexplotación, mal manejo de los recursos hídricos, excesivo uso de insumos agrícolas, monocultivos, entre otros. Los factores mencionados pueden afectar la sostenibilidad de uso de suelo de diferentes formas, a través de alteraciones en procesos físicos, químicos y biológicos. Cuando el manejo del suelo es pobre, la sostenibilidad de uso del suelo es frecuentemente amenazada por la combinación de los factores mencionados.

Debido al uso inadecuado de la mayoría de los suelos a nivel mundial, grandes superficies se han visto afectadas, por lo tanto, la adopción de prácticas de manejo adecuadas a las condiciones de producción resultan imprescindibles y de vital importancia para el futuro de los humanos y de los sistemas naturales. Si bien, durante muchos años el crecimiento económico y la conservación ambiental significaron relaciones antagónicas, esta contradicción se fue transformando a medida que se realizaban diversos esfuerzos por integrar los aspectos ambientales con los económicos y los sociales. Evidentemente, la necesidad de ir integrando estos aspectos tiene que ver con los límites de crecimiento planteados en la época moderna, confrontándose con los problemas de crecimiento demográfico, extrema pobreza y deterioro ambiental crecientes que comprometen gravemente el futuro de las nuevas generaciones, sobre todo en países en vías de desarrollo, dentro de los cuales encontramos a México.

En México han existido esfuerzos por conservar las condiciones de los agroecosistemas desde años pasados, aún a pesar de no existir el término sostenibilidad nos podemos remitir a esfuerzos realizados por personajes de suma importancia en el desarrollo agrícola a nivel nacional como el Maestro Hernández Xolocotzi (1913-1991), quien destacó como investigador de la agricultura tradicional y la etnobotánica, quien abrió la brecha para reconocer e investigar la ciencia campesina fundamentada en una agricultura de raíz milenaria, concebida como un proceso integral de la relación humana con la naturaleza, incluyendo actividades de caza, recolección y extracción. Hernández Xolocotzi participó en los procesos que dieron origen e impulsaron la Revolución Verde, así pudo comprender cabalmente las limitaciones de esa concepción. Desde un punto de vista objetivo, el problema no solo radicaba en el carácter eminentemente productivista y la pretensión mecánica de resolver las diferencias del agro

mexicano a partir de un solo modelo, sino también en olvidar la diversidad que en todos los niveles y desde todo punto de vista existía en la agricultura, y que ésta no era solo un problema científico sino fundamentalmente humano.

Desde épocas pasadas los conocimientos generados a través de la agricultura tradicional incluyen procesos y prácticas que con frecuencia tienden a conservar los recursos y a mantener un mayor equilibrio entre recursos y procesos de extracción. La agricultura tradicional es una fuente apenas conocida de conocimientos que podrían en mucha mayor medida fundamentar y dar más sentido a investigación agrícola en nuestro país. Al reconocer la validez del conocimiento empírico en aspectos relacionados con la sostenibilidad de uso de suelo y en general de los recursos naturales, hemos podido apreciar elementos fundamentales de esos agroecosistemas tradicionales que nos aportan valores de referencia ineludibles si se pretende construir agroecosistemas sostenibles.

Dentro de las características que más destacan en los agroecosistemas tradicionales en el estado de Oaxaca podemos mencionar las siguientes:

- Visión integral de las poblaciones, lo cual confiere una actitud de respeto hacia los elementos de la naturaleza, en algunos de los casos alcanzando el grado de deidades.
- Una visión de largo plazo que permite pensar en las generaciones futuras.
- Los conocimientos de la naturaleza, sus leyes, ciclos y ritmos, acumulados de una generación a otra a través de la tradición oral, proporcionan un acervo metodológico para mejorar las prácticas de manejo de los agroecosistemas (asociación de cultivos, diversificación de germoplasma, control de plagas, prácticas culturales, entre otros).
- La base biológica caracterizada por una gran diversidad se aprovecha y se mantiene. Por ejemplo, el sistema milpa permite la obtención de una gran diversidad de productos, tales como el maíz, frijol, calabaza, ejote, chile, quelites, chapulines y otras especies útiles.

Partiendo de este panorama general, ciertos elementos nos permitirán considerar la sostenibilidad como un criterio de acción y de planeación, teniendo como base los conocimientos empíricos y el desarrollo tecnológico existente en la actualidad en un equilibrio que permita sostener la capacidad de producción de los agroecosistemas tradicionales en México y de manera particular en el estado de Oaxaca.

Frente al acoso de la agricultura empresarial, cuya meta es la apropiación de los recursos naturales con fines de lucro, urge apoyar el desarrollo del sector rural a través de unidades de producción altamente diversificadas y sostenibles, así como investigaciones que permitan elaborar tecnologías apropiadas para la producción y la reconstrucción de los ecosistemas, todo esto ligado a la seguridad alimentaria de la población y a la lucha contra la desigualdad social.

Metodología

Para la realización del presente estudio se propone una metodología cuali-cuantitativa para evaluar las condiciones generadas en 4 diferentes agroecosistemas como resultado de las acciones de la mano del hombre a través de los sistemas de labranza utilizados en cada uno de ellos. . La metodología si bien es en gran parte descriptiva, permite obtener resultados prescriptivos sobre determinadas acciones y se fundamenta principalmente en el modelo propuesto por Leopold (1971), el cual hace énfasis en el uso de matrices como una herramienta útil para dicho fin.

Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se ubica dentro del Distrito de ETLA, Oaxaca, región de los Valles Centrales del estado, en las coordenadas 96°48' longitud oeste, 17°12' latitud norte, a una altura de 1660 a 1750 metros sobre el nivel del mar (msnm). Las dos poblaciones en las cuales se enfocará el presente trabajo son: San Pablo y Guadalupe ETLA. En ambas comunidades la agricultura representa una de las principales actividades económicas, aunque debido a su cercanía con la Ciudad de Oaxaca existe una amplia participación en el sector servicios e industrial. Ambas comunidades pertenecen al distrito de ETLA y se localizan a 25 minutos de la Ciudad de Oaxaca.

Se seleccionaron cuatro parcelas (dos en cada una de las localidades) representativas de los agroecosistemas predominantes en la zona de estudio, en donde las condiciones topográficas muestran sistemas de producción desarrolladas en lomerío y valle.



Fig. 10. Parcela 1. Santa Cruz, Etla



Fig. 11. Parcela 2. Santa Cruz, Etla



Fig. 12. Parcela 3. Guadalupe, Etla



Fig. 13. Parcela 4. Guadalupe, Etla

En la zona de estudio se aprecian diferencias significativas en aspectos relacionados con los sistemas de producción, así como en las condiciones que guardan los agroecosistemas y por lo tanto, en el presente trabajo se habrán de describir a detalle los sistemas de labranza utilizados en las diferentes parcelas de estudio, así como el efecto que ellas tienen en algunas propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, y por lo tanto, en la calidad del suelo.

Se establecieron 4 parcelas de producción agrícola en coordinación con productores de la zona, para lo cual se buscó a través de encuestas de campo, tener 4 de los principales esquemas tradicionales de producción en la zona de influencia del proyecto.

Se asignaron categorías de acuerdo a las condiciones de los sistemas de labranza utilizados, siendo la clasificación de la siguiente forma:

Categoría	Características	No. de Parcela
Labranza tradicional	Es un sistema que aún se observa con frecuencia en la zona y hace uso exclusivo de tracción animal como fuente de energía para el desarrollo de la labranza del terreno. Se presenta en su mayoría en zonas de lomerío y difícil acceso. Para esta categoría se utilizan exclusivamente implementos artesanales.	1
Labranza ligeramente mecanizada	Es de los principales sistemas de labranza utilizados en la zona y hace uso tanto de tracción animal como de tracción mecánica, esto a través del uso de tractor. En este caso particular, las primeras labores se hacen por medio del uso de yunta y posteriormente se echa mano de la maquinaria agrícola. Este tipo de labranza se encuentra en zonas con pendientes ligeras y que permiten el acceso a los predios con facilidad.	2
Labranza mecanizada	Sistema de labranza que hace uso en su mayoría de la tracción mecanizada (tractor), las condiciones de las parcelas que utilizan este tipo de labranza son de planicie, con inexistencia de pendiente y con acceso a fuentes de agua próximas.	3
Labranza mecanizada intensiva	sistema el cual hace uso exclusivamente de tracción mecanizada, generalmente son zonas planas y con disponibilidad de fuentes hídricas.	4

Tabla 1. Categorías asignadas a los diferentes sistemas de labranza

Es importante mencionar que uno de los requisitos que tuvieron que cumplir las parcelas observadas fue tener al menos 5 años con el mismo sistema de labranza, así como el mismo esquema de producción, lo anterior con el firme propósito de que las condiciones actuales del suelo y en general del agroecosistema se puedan diferenciar de manera adecuada y permitir conocer las diferencias entre ellos.

A partir de la asignación de dichas categorías, se procedió a realizar una descripción de las condiciones actuales de los agroecosistemas considerando las siguientes variables: A las variables consideradas se les asignaron valores cualitativos de acuerdo a los conocimientos empíricos de los productores y soportados por determinaciones de laboratorio y campo. El procedimiento desarrollado presentó fundamentos basados en la metodología del marco lógico, la cual considera como fases iniciales del proceso la identificación de las condiciones actuales del sistema a estudiar, así como la posterior

definición de líneas de acción a partir de la información obtenida y el establecimiento de las interacciones entre distintas variables de un sistema dinámico determinado, de manera específica en cuatro agroecosistemas de la zona de estudio y poniendo especial atención en los factores edafológicos y de sistemas de labranza utilizados.

Una vez delimitadas las variables a estudiar en los diferentes agroecosistemas, se procedió a desarrollar la descripción de cada uno de ellos, así como el establecimiento de la relación existente entre los diferentes factores considerados.

Variable
Propiedades del suelo
Resistencia a la penetración del suelo
Características del cultivo establecido
Rendimiento de los cultivos establecidos
Entorno Socioeconómico de los productores

Tabla 2. Variables cualitativas consideradas en la investigación

Resultados

Las características generales observadas en los sitio de observación fueron los siguientes:





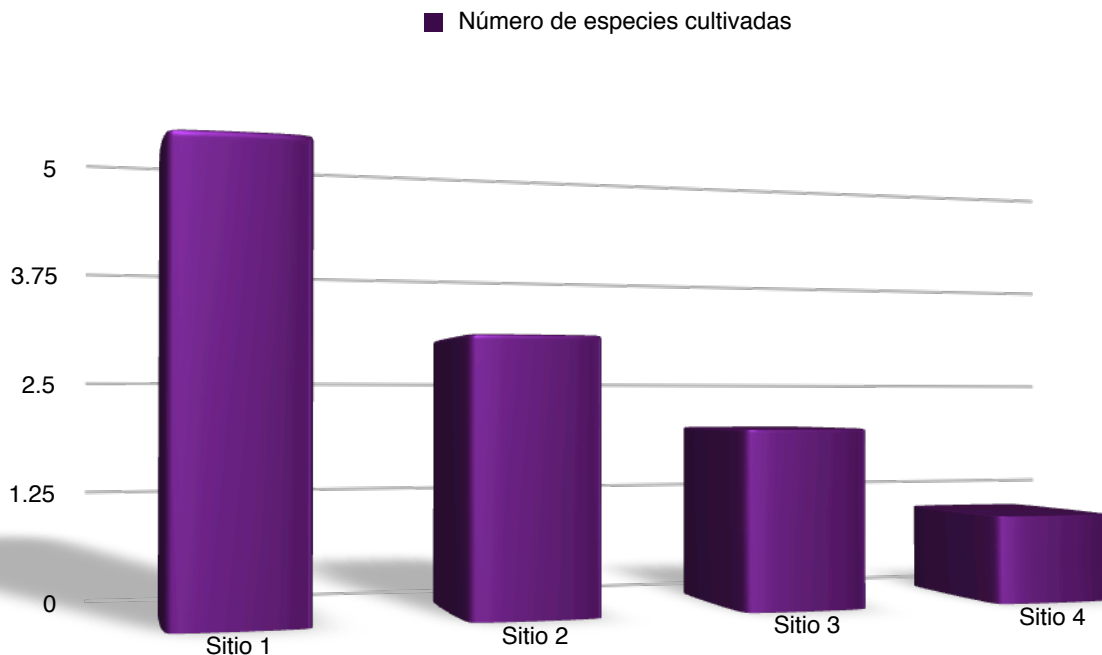
Parcela	Cultivo	Características del terreno	
1	<p>Maíz de temporal, se utilizan variedades criollas (bolita), el sistema de labranza es sin mecanización y existe aportación de MO.</p> <p>Se considera una gran diversidad de cultivos a establecer por parte del productor (5 cultivos)</p>	<p>Ladera con pendientes mayores al 15%. Suelos poco profundos y de textura limosa.</p> <p>Aún a pesar de la pendiente, es un terreno que presenta un suelo adecuado para el establecimiento de cultivos agrícolas.</p>	
2	<p>Maíz de temporal, se utilizan variedades criollas (bolita), sistema de labranza ligeramente mecanizado y uso de fertilizantes.</p> <p>El número de cultivos bajo estas condiciones se reduce de manera significativa, siendo solamente maíz, calabaza y frijol los cultivos establecidos.</p>	<p>Ladera con pendientes entre 10-15 %. Suelos poco profundos y de textura arcillo limosa.</p> <p>Por las características del suelo, se presenta de manera frecuente la inundación de las zonas bajas, limitando de esta manera la producción agrícola.</p>	
3	<p>Maíz de temporal y riego, se usan variedades, sistema de labranza mecanizado y uso intensivo de fertilizantes.</p> <p>Solo se cultiva la asociación maíz - calabaza. Las características del terreno limitan el desarrollo de los cultivos en ausencia de agua disponible.</p>	<p>Planicie con pendientes menores al 5 %. Suelos profundos y de textura limo arenosa.</p> <p>Al ser un terreno con una textura predominantemente arenosa, la retención de humedad es muy baja y por lo tanto, los cultivos son muy susceptibles a la falta de agua.</p>	
4	<p>Maíz de temporal y riego, se usan variedades criollas, sistema de labranza. Mecanizada y uso intensivo de fertilizantes.</p> <p>Completamente un sistema de producción de monocultivo, propiciado tanto por las condiciones del terreno, como por el fin de la producción que es para la comercialización de maíz en grano.</p>	<p>Planicie con pendientes menores al 5%. Suelos profundos y de textura limosa.</p> <p>Es una parcela que al estar próxima a una corriente de agua, es utilizada para la producción de 2 ciclos completos debido a la disponibilidad de agua.</p>	

Tabla 3. Características generales de los sitios

Como se puede observar en la tabla 3, existe una relación muy estrecha entre el grado de mecanización de labranza y el número de especies cultivadas.



Gráfica 1. Número de especies cultivadas por sistema de labranza

En los sistemas de producción enfocados al autoconsumo, la diversificación de especies cultivadas es un requisito, debido a que las actividades agrícolas desarrolladas son en su mayoría la fuente de alimentos para la población. Contrario a lo anterior, los sistemas mecanizados de manera intensiva están íntimamente relacionados con la comercialización de los productos obtenidos y por lo tanto, la importancia de hacer lo más rentable (económicamente) posible los sistemas de producción, aún a pesar de los inconvenientes generados por el establecimiento de monocultivos.

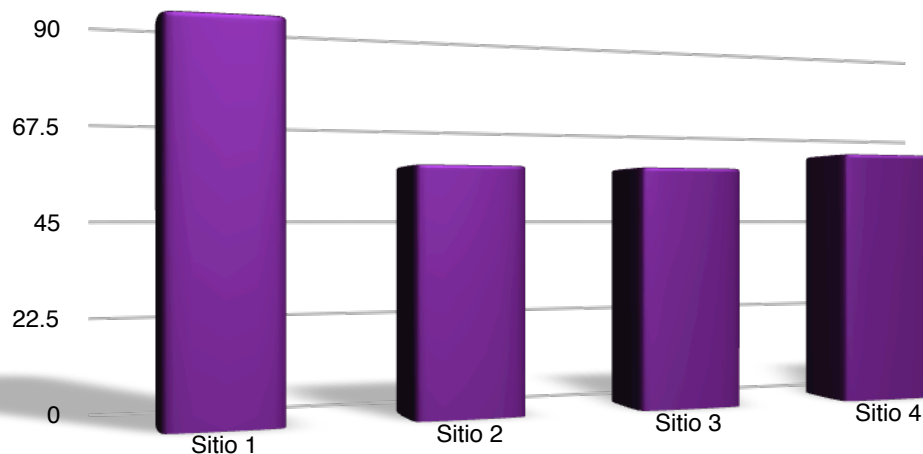
Se puede observar que las características del entorno socioeconómico están muy relacionadas con las características de los terrenos utilizados, de manera general se observa en la mayoría de las comunidades de la zona, que la población con menor capacidad económica se encuentra ubicada en zonas de laderas, con pendientes en muchos de los casos mayores al 15 %.

Propiedades del suelo

Se evaluaron los indicadores de la calidad del suelo y salud del cultivo en las parcelas de maíz objeto de estudio (Altieri y Nicholls, 2002). Para los indicadores de la calidad del suelo se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4. La adición de estiércol en el sitio 1, ha resultado en una mejor estructura, lo cual propicia una mayor infiltración y mayor actividad biológica, manifestada por la presencia de lombrices, pero la densidad aparente fue de las mas altas observadas. El sitio 2 recibe estiércol con menor frecuencia, mientras que el sitio 3 y 4 no han recibido ninguna aplicación.

Indicador	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Desarrollo de Estructura	10	5	5	5
Compactación e infiltración	10	1	10	10
Profundidad	10	10	10	10
Descomposición de residuos	10	1	1	1
Materia orgánica	10	5	5	5
Retención de humedad	10	10	1	5
Desarrollo de raíces	5	10	5	5
Cobertura del suelo	10	10	10	10
Grado de erosión	5	5	10	10
Actividad biológica	10	1	1	1
TOTAL	90	58	58	62

Tabla 4. Valores de los indicadores del suelo observados



Gráfica 2. Valores de los indicadores del suelo observados

El sitio mejor rankeado fue el 1, seguido por el no. 4. Los sitios 2 y 3 fueron los de menor calidad, según los valores estimados de estos indicadores.

Resistencia a la penetración del suelo

Otra variable indicadora del grado de compactación, fue la resistencia a la penetración, medida con un penetrómetro marca Spectrum modelo SC-900. Los resultados se muestran en la tabla 5. Los sitios 1 y 4 mostraron los valores más altos, especialmente en la profundidad de 15-30 cm; estos sitios también mostraron los mayores valores de densidad aparente.

Además, en el sitio 1, se observó la presencia frecuente de piedras en el perfil. En el anexo 1 se presenta la descripción de los perfiles de suelo; donde en la mayoría de los casos se detectó la presencia de un “piso de arado” en la profundidad de 15-25 cm.

<i>Profundidad</i>	<i>Sitio 1</i>	<i>Sitio 2</i>	<i>Sitio 3</i>	<i>Sitio 4</i>
0	105	0	166	115
5	452	153	381	250
10	814	232	684	797
15	989	482	772	1293
20	1501	526	873	1408
25	1698	995	868	1739
30	1572	776	530	1890
<i>TOTAL</i>	<i>90</i>	<i>58</i>	<i>58</i>	<i>62</i>

Tabla 5. Valores de resistencia a la penetración

Es importante mencionar que en el caso del sitio 1, aún a pesar de que los datos de penetración mostraban dificultad para hacerlo, el desarrollo radicular de los cultivos mostró un avanzado estado de crecimiento, lo cual se puede deber en parte a los contenidos de materia orgánica presentes en dicho suelo.



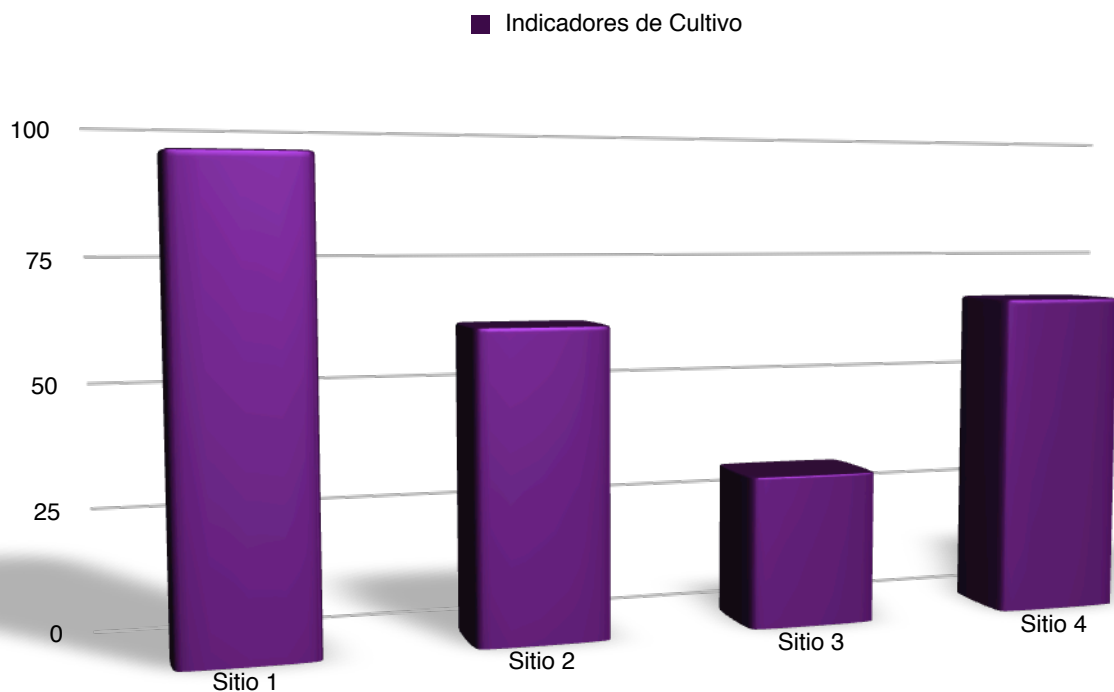
Características del cultivo establecido

Los indicadores de “salud” del cultivo tendieron a asociarse directamente con los valores totales de los indicadores de calidad del suelo (Cuadro 8). El sitio 2 presentaba condiciones de anegamiento en la parte baja de la parcela, por lo cual obtuvo un 5 en el indicador de inundación. La diversidad

circundante fue alta en el sitio 1, ya que se ubica en las cercanías de la zona boscosa y además existe un huerto casero cercano. El sitio 4 se ubica en las cercanías de un arrollo con carrizo y algunos árboles.

Indicador	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio4
Apariencia	5	10	1	5
Crecimiento	10	10	1	10
Plagas	10	10	1	10
Enfermedades	10	10	10	10
Malezas	10	5	5	5
Sequía, inundación	10	5	5	10
Rendimiento	10	5	1	5
Asociaciones	10	1	1	5
Diversidad circundante	10	5	5	1
Manejo	10	1	1	5
TOTAL	95	62	31	66

Tabla 6. Valores de indicadores del cultivo



Gráfica 3. Valores de indicadores del cultivo

Otros indicadores de las condiciones de desarrollo del maíz de manera particular en las parcelas, se muestran a continuación. Las tasas de crecimiento del cultivo se basan en el incremento en altura, esperándose que dichas tasas sean proporcionales al grado en el cual se satisfacen los requerimientos del cultivo en cuanto a temperatura, humedad y nutrientes. Las tasas de desarrollo indican la velocidad

con la cual se diferencian las hojas y cuando los niveles de humedad y nutrientes están a niveles adecuados pueden estar más relacionadas con la temperatura.

Se observan tasas de crecimiento bajas (0.35 – 0.60 hojas/semana) para los sitios 3 y 4 a principios de junio debido a la ausencia de lluvias durante la emergencia del cultivo. A fines de junio, se observan tasas altas de crecimiento (1.6 – 1.9 hojas/semana) en los sitios 1 y 2, debido a mejores condiciones de humedad; mientras que en el sitio 3 se mantuvieron tasas de crecimiento bajas debido a la ausencia de lluvias importantes.

Sitio 1.

Fecha de Muestreo	Altura (cm)	Hojas liguladas	Tasa de Crec. cm / día	Tasa de Des. Hojas/semana
18 mayo	6.5	0.9	--	--
1 junio	35.0	3.4	2.0	1.3
29 junio	172.0	9.7	4.9	1.6

Tabla 7. Valores de desarrollo del cultivo

Sitio 2.

Fecha de Muestreo	Altura (cm)	Hojas liguladas	Tasa de Crec. cm / día	Tasa de Des. Hojas/semana
25 agosto	156.1	8.1	--	--
1 septiembre	190.5	9.4	4.9	1.3
8 septiembre	235.7	11.3	6.4	1.9

Tabla 8. Valores de desarrollo del cultivo

Sitio 3.

Fecha de Muestreo	Altura (cm)	Hojas liguladas	Tasa de Crec. cm / día	Tasa de Des. Hojas/semana
18 mayo	26.0	4.0	--	--
1 junio	48.6	4.7	1.6	0.35
29 junio	105.0	8.5	2.0	0.95

Tabla 9. Valores de desarrollo del cultivo

Sitio 4.

Fecha de Muestreo	Altura (cm)	Hojas liguladas	Tasa de Crec. cm / día	Tasa de Des. Hojas/semana
18 mayo	7.3	3.8	--	--
1 junio	32.1	5.0	1.8	0.60
29 junio	160.0	9.0	4.6	0.95

Tabla 10. Valores de desarrollo del cultivo

De la misma manera muestran los contenidos de humedad edáfica para dos profundidades, así como el grado de marchitez de los cultivos observada entre las 12-14 hs. En general hay concordancia entre los contenidos de humedad y el grado de marchitez, así como entre estos indicadores y las tasas de crecimiento, lo cual valida la pertinencia de estas últimas como indicadores de la condición hídrica del cultivo. La capacidad de campo promedio de los sitios, en orden ascendente, fue del 15.1, 18.0, 11.3 y 15.4 %, respectivamente. Es decir, el sitio 3 tenía una menor capacidad para retener agua aprovechable para los cultivos, lo cual, aunado a una menor precipitación, resultó en una mayor deficiencia de humedad.

Fecha de Muestreo	Profundidad 0-15 cm	Profundidad 15-30 cm	Marchitez del Cultivo
18 mayo	20.0	5.3	No
1 junio	30.2	27.5	No
29 junio	33.0	28.9	No

Fecha de Muestreo	Profundidad 0-15 cm	Profundidad 15-30 cm	Marchitez del Cultivo
25 agosto	24.2	22.4	no
1 septiembre	25.7	26.9	no
8 septiembre	31.0	25.4	no

Sitio 1.

Fecha de Muestreo	Profundidad 0-15 cm	Profundidad 15-30 cm	Marchitez del Cultivo
18 mayo	18.0	16.7	Leve
1 junio	11.7	5.3	Moderada
29 junio	7.6	3.8	Severa

Sitio 2.

Fecha de Muestreo	Profundidad 0-15 cm	Profundidad 15-30 cm	Marchitez del Cultivo
18 mayo	16.3	14.5	No
1 junio	13.8	13.0	No
29 junio	16.5	14.6	No



Rendimientos de los cultivos

En relación con los rendimientos de grano y forraje obtenidos en las parcelas de estudio. la parcela 3 presentó una alta densidad de plantas por ha, pero menores rendimientos de grano y forraje, debido a la mayor competencia por humedad y posiblemente nutrientes. Cabe recordar que esta parcela ya no fue fertilizada y que parte se cosechó para utilizarse como forraje fresco.

Para poder obtener los datos de rendimiento fue necesario determinar las densidades de siembre para cada uno de los sitio, para tal fin se tomaron 4 muestras de 10 m lineales cada una, de las cuales se obtuvieron los siguientes datos:

Sitio 1.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
Ancho de Surco (m)	0.72	0.73	0.65	0.64	0.69
Distancia entre matas (m)	0.91	0.91	1.11	0.83	0.94
Plantas por mata	2.45	2.36	2.44	2.75	2.50
Densidad de Población	37,500.00	35,616.44	33,846.15	51,562.50	39,631.27
Mazorcas por planta	0.75	0.86	0.83	0.81	0.81
Mazorcas por hectárea	28,125.00	30,630.14	28,092.31	41,765.63	32,153.27
Peso Promedio de Grano por mazorca	73.50	79.50	100.00	96.25	87.31
Rendimiento obtenido Kg/Ha	2,067.19	2,435.10	2,809.23	4,019.94	2,832.86

Sitio 2.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
Ancho de Surco (m)	0.82	0.8	0.85	0.79	0.815
Distancia entre matas (m)	0.83	0.77	0.83	0.91	0.84
Plantas por mata	2.17	2.08	2.08	1.83	2.04
Densidad de población (plantas/Ha)	31,707.32	33,750.00	29,411.76	25,527.43	30,099.13
Mazorcas por planta	0.89	0.92	0.85	0.90	0.89
Mazorcas por hectárea	28,219.51	31,050.00	25,000.00	22,974.68	26,811.05
Peso Promedio de Grano por mazorca	72.25	88.75	70.75	77.50	77.31
Rendimiento obtenido Kg/Ha	2,038.86	2,755.69	1,768.75	1,780.54	2,085.96

Sitio 3.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
Ancho de Surco (m)	0.7	0.72	0.72	0.67	0.70
Distancia entre matas (m)	0.59	0.63	0.67	0.63	0.63
Plantas por mata	3.71	3.38	3.00	3.31	3.35
Densidad de Población	90,000.00	75,000.00	62,500.00	79,104.48	76,651.12
Mazorcas por planta	0.69	0.72	0.60	0.71	0.68
Mazorcas por hectárea	62,100.00	54,000.00	37,500.00	56,164.18	52,441.04
Peso Promedio de Grano por mazorca	28.20	47.20	30.60	42.60	37.15
Rendimiento obtenido Kg/Ha	1,751.22	2,548.80	1,147.50	2,392.59	1,960.03

Sitio 4.

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
Ancho de Surco (m)	0.72	0.68	0.66	0.71	0.69
Distancia entre matas (m)	1.11	0.83	1.00	0.77	0.93
Plantas por mata	2.78	2.50	2.00	1.69	2.24
Densidad de Población	34,722.22	44,117.65	30,303.03	30,985.92	35,032.20
Mazorcas por planta	0.76	0.86	1.05	0.95	0.91
Mazorcas por hectárea	26,388.89	37,941.18	31,818.18	29,436.62	31,396.22
Peso Promedio de Grano por mazorca	55.28	42.60	70.12	76.50	61.13
Rendimiento esperado Kg/Ha	1,458.78	1,616.29	2,231.09	2,251.90	1,889.52

De manera global tenemos los siguientes datos:

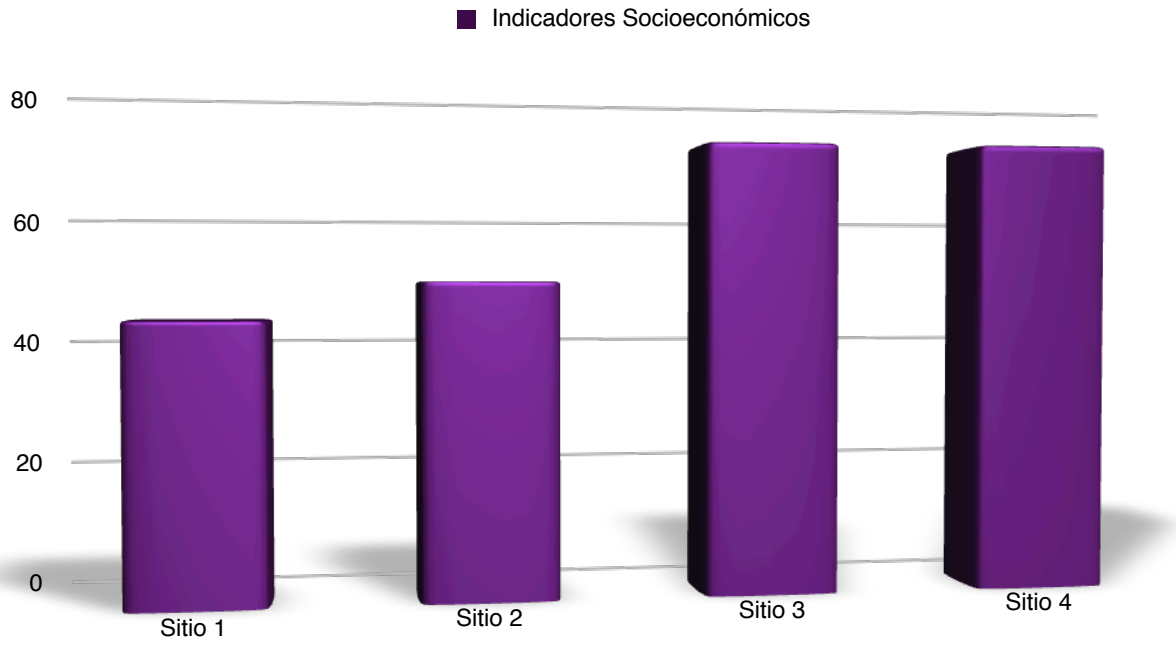
Parámetro	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
Ancho de Surco (m)	0.69	0.82	0.70	0.69
Distancia entre matas (m)	0.94	0.84	0.63	0.93
Plantas por mata	2.50	2.04	3.35	2.24
Densidad de Población	39,631.27	30,099.13	76,651.12	35,032.20
Rendimiento obtenido (kg/Ha)	2,832.86	2,085.96	1,960.03	1,889.52

El sitio con mayores rendimientos, a los cuales hay que agregar los de frijol (526 kg/ha, obtenidos con 16,430 plantas/ha) y calabaza (5360 kg/ha de frutos, obtenidos con 4530 plantas/ha), fue el no.1. Aquí, además del aporte extra de nutrientes proveniente del estiércol, se tuvo una densidad de maíz mas cercana a la óptima recomendada para suelos con buena capacidad de retención de humedad en Etla (Ruiz y Silva, 1999). En este sitio se registró la mayor concentración de nitrógeno total (0.464 %) en la profundidad de 0-30 cm, mientras que los sitios 2 y 3 mostraron los menores valores (0.203 y 0.257 %, respectivamente). El sitio 4 mostró un valor intermedio (0.261 %).

Entorno Socioeconómico de los productores

En el sitio 1, donde se hace uso exclusivo de tracción animal, se obtuvieron valores muy bajos para control local del recurso y diversificación de uso, pero aquí fue el único sitio donde se reportó una menor variabilidad en el ingreso asociada al uso de la tracción animal. En el sitio 2, y en especial en los sitios 3 y 4, los resultados de estos indicadores se consideran mas elevados, excepto en cuanto a la diversificación de uso de los animales. En cuanto a compatibilidad con el agroecosistema, solamente en el sitio 2, se reportó un valor intermedio, posiblemente debido a este agricultor tiene un vehículo de motor que utiliza para el transporte, siendo además la elaboración de barbacoa una de sus principales actividades. Los sitios con mayor puntuación se asociaron con la percepción de un menor endeudamiento y dependencia de subsidios con relación a utilizar tractores. En el sitio 1, donde se realizó un manejo totalmente agroecológico, ya que no se utilizó maquinaria para ninguna operación de labranza, hay biodiversidad circundante, se aplica regularmente estiércol y se establecieron frijol y calabaza en asociación con el maíz. Estudios a nivel local han mostrado una mayor eficiencia del uso de la tierra de los policultivos con relación a los monocultivos (Herrera y Ruiz, 1994; Graham y Ruiz, 1996).

Indicadores	Sitio 1			Sitio 2			Sitio 3			Sitio 4		
	Alta	Media	baja	Alta	Media	baja	Alta	Media	baja	Alta	Media	baja
Equidad (accesibilidad)		5		10			10			10		
Justicia social (ingreso equitativo para operadores)		5				1	10			10		
Control local del recursos (Yuntas de misma localidad)			1	10			10			10		
Diversificación de uso (Transporte, jaripeos)			1			1		5			5	
Relación beneficio/costo (con rel. a tracción mecánica)		5		10			10			10		
Variabilidad del ingreso (con rel. a tracción mecánica)			1			1		5			5	
Endeudamiento (con rel. a tracción mecánica)		5				1			1			1
Dependencia de subsidios (con rel. a tracción mecánica)			1			1			1			1
Redituabilidad de inversión (con rel. a tracción mecánica)	10			10			10			10		
Compatibilidad con el Agroecosistema (con rel. a tracción mecánica)	10				5		10			10		
SUBTOTAL	20	20	4	40	5	5	60	10	2	60	10	2
TOTAL		44			50			72			72	



Discusión

El sistema de labranza utilizado en cualquier agroecosistema habrá de tener un impacto importante en las condiciones del mismo y de manera especial en las condiciones del suelo, sin embargo, es importante destacar que no es la única variable afectando de manera general la sostenibilidad de uso del suelo, sino que dicha afectación se da a través de la estrecha relación existente entre los sistemas de labranza y factores tales como el entorno económico y cultural de los productores, y como consecuencia de lo anterior, de las labores culturales desarrolladas en el cultivo, así como del manejo y del propósito del mismo.

En la zona de influencia del presente trabajo, fue evidente la gran diversidad de agroecosistemas que se pueden encontrar en áreas relativamente pequeñas, y de la misma manera se pueden observar una gran variedad de efectos (tanto positivos como negativos) que han tenido los sistemas de labranza y las labores culturales en las condiciones del suelo y en la sostenibilidad de uso del mismo.

No podemos considerar de manera individual a los sistemas de labranza como indicadores de sostenibilidad de uso del suelo de un agroecosistema determinado, sin embargo, al existir una estrecha relación de dicha práctica con otros factores del proceso de producción agrícola, puede servir como un referente de las condiciones a esperarse, y puede permitir inferir información relevante en relación a las condiciones del suelo y la expectativa de uso y manejo que pueden tener.

Tratar de comprender en su totalidad todas las variables relacionadas con el funcionamiento de un agroecosistema determinado resulta un tarea difícil de concretar, debido principalmente a la gran diversidad de factores (ecológicos, sociales y económicos) relacionados en la operación del mismo, así como la complejidad que cada uno puede presentar, por lo tanto, se puede contemplar al sistema de labranza como un indicador indirecto de las condiciones del suelo, así como de la sostenibilidad de uso que puede presentar.

Conclusiones

La parcela donde el laboreo se realizó totalmente con tracción animal, presentó los mayores indicadores de calidad del suelo y salud del cultivo. Los indicadores de sostenibilidad socio-económica mostraron que la tracción animal se adecua bien a las condiciones culturales y sociales de los agricultores minifundistas.

El uso de las prácticas de preparación de los suelos, resultó en la formación de capas endurecidas, aumento de la densidad aparente, disminución de la capacidad de retención de la humedad y deterioro de la estructura del suelo, lo cual puede incrementar la escorrentía, la erosión y pérdida del potencial productivo de los suelos.

Aún cuando la posibilidad de utilizar labranza de conservación es baja, ya que los residuos de cosecha se utilizan para alimentar al ganado, se debería promover, ya que ésta práctica podría contribuir a una mayor eficiencia en el uso del agua al disminuir la evaporación, así como en la reducción del riesgo de erosión hídrica.

La compactación de los suelos está asociada a los bajos contenidos de materia orgánica, por lo cual es urgente restituir los residuos de cosecha y/o el estiércol producido al suelo. Una alternativa es la elaboración de compostas con la cañuela que el ganado deja después de alimentarse.

Es necesario diseñar y evaluar equipos para mecanizar labores como la siembra, fertilización y cosecha, con lo cual se utilizaría la energía animal con mayor eficiencia y también se optimizaría la mano de obra.

Bibliografía

Altieri MA & CI Nicholls(2002). Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agricultural systems. In: Biodiversity in Agroecosystems. Collins WW & CO Qualset (Eds.) CRC Press,Boca Raton.

Altieri MA (1995) Biodiversity and pest management in agroecosystems.Hayworth Press,New York.185 pp.

Carrol CR,JH Vandermeer & PM Rosset(1990) Agroecology. McGraw Hill Publishing Company,New York.

Edwards, W.M., M.J. Shipitalo, L.B. Owens, and L.D. Norton. 1996. Water and nitrate movement in earthworm burrows within long-term no-till cornfields. J. Soil Water Conserv. 44:240–243.

Gliessman SR(1998) Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture.Ann Arbor Press,Michigan.

Nair PKR(1982) Soil productivity aspects of agroforestry. ICRAF,Nairobi.

Hernández X. Efraín, Fujii G. Gerardo. Estrategias de Reproducción Campesina en Yaxcaba, Yucatán. En: Revista Agrociencia. Serie Socioeconomía. Vol. 2. Núm. 1. 1991. Pp. 39-52.

Jackson, Wes. 1980. New Roots for Agriculture, 1st edition. Friends of the Earth, San Francisco, CA. 150 p.

Karwasra, S.P.S. 1991. Socio economic considerations in tillage. Proc. 12th Conference of ISTRO "Soil Tillage for Agricultural Sustainability". pp. 536-545. IITA, Ibadan.

Mannering, J.V., and C.R. Fenster. 1983. What is conservation tillage? J. Soil Water Conserv. 38:141-143.

Reijntjes CB, Haverkort & A Waters-Bayer (1992)
Farming for the future. MacMillan Press Ltd., London.
Sumner DR (1982) Crop rotation and plant productivity.
In: Handbook of Agricultural Productivity. M.

Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J. & Smith, J.U. 1998. Using long-term experiments to estimate the potential for carbon sequestration at the regional level: An examination of five European scenarios. Agrokémia és Talajtan 46: 25-38.

Solbrig OT 1999. Observaciones sobre biodiversidad y desarrollo agrícola. Páginas 29-39 En: Mateucci, SD, OT Solbrig, J Morello y G Halffter (editores). Biodiversidad y uso de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. Eudeba, Buenos Aires.

Soriano A y MR Aguiar 1998. Estructura y funcionamiento de los agroecosistemas. Ciencia e Investigación 50: 63-73.

World Commission on Environment and Development. 1987. From One Earth to One World: An Overview. Oxford: Oxford University Press.

Anexos

