



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Calidad del suelo y diversidad vegetal en milpas en Tlazala,
Estado de México: percepción de diferentes sistemas de
manejo**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Licenciada en Ciencias de la Tierra

P R E S E N T A:

Silvana Escalante Hidalgo



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. VÍCTOR DANIEL ÁVILA AKERBERG**

Abril, 2017

Ciudad Universitaria, CDMX



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos de la alumna

Escalante
Hidalgo
Silvana
55 85 33 43 01
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Ciencias de la Tierra
412058886

2. Datos del Tutor

Dr.
Víctor Daniel
Ávila
Akerberg

3. Datos del sinodal 1

Dra.
Lucía Oralia
Almeida
Leñero

4. Datos del sinodal 2

Dra.
Silke
Cram
Heydrich

5. Datos del sinodal 3

Dra.
Karina
Boege
Paré

6. Datos del sinodal 4

Dr.
Rodolfo Omar
Arellano
Aguilar

7. Datos del trabajo escrito

Calidad del suelo y diversidad vegetal en milpas en Tlazala, Estado de México: percepción de diferentes sistemas de manejo 116 pp.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitir mi formación académica y abrirme un panorama inagotable de visiones y colores.

A la Facultad de Ciencias por presentarme al trabajo científico y acercarme al mundo y a mi camino.

A los agricultores de Tlazala que compartieron su experiencia conmigo y me abrieron las puertas. Gracias por seguir con la grandiosa y bella labor de trabajar el campo.

Al Dr. Víctor Ávila Akerberg por confiar en mí y en mi trabajo desde el inicio. Agradezco su apoyo, tiempo y ánimo a lo largo de la realización de esta investigación.

A la Dra. Silke Cram Heydrich por su disposición y apoyo en todo momento. A la Dra. Lucía Almeida Leñero por su tiempo y ayuda. A la Dra. Karina Boege Paré y al Dr. Omar Arellano Aguilar por sus observaciones y comentarios.

A la Unidad de Análisis Ambiental de la Facultad de Ciencias y a la Dra. Claudia Ponce de León Hill por haber hecho posible el trabajo de laboratorio de esta tesis. Al M. en C. Manuel Hernández Quiroz por su paciencia, confianza y ayuda en el laboratorio.

Al M. en C. Ramiro Cruz Durán por la identificación de especies vegetales. A la Dra. Irama Núñez Tancredi y la Dra. Mary Frances Rodríguez van Gort por su apoyo en el desarrollo y análisis de la investigación socioambiental de mi trabajo.

Al M. en A. Luis Ángel López Mathamba, la M. en C. Tanya González Martínez y a Lalo por ayudarme con el trabajo de campo y por los buenos momentos en Tlazala.

A todos los maestros que compartieron conmigo su conocimiento y a la gente que me llenó de vida en este proceso.

A mi mamá, por creer en mí y siempre apoyarme (Lo logramos! Te amo).

A mi papá, por enseñarme a seguir mi corazón.

A Brianto, por siempre empujarnos a mí y a mis sueños. Gracias por quererme, ayudarme y cuidarme tanto.

A mi tío Pepe y mi tía Jenny, por tanto amor y apoyo incondicional.

*“El hombre es paciente
Pero no tanto como el tiempo contemplado
Desde la orilla de la noche
El hombre es sufrido
Sus músculos labrados a golpes de milenios
Pero la tierra es suave y le comprende y le ama
De tantos siglos hasta tantos
El hombre es afable
La tierra le ama y pide un modo de armonía
Y quiere una forma de fraterna dulzura
No quiere estar cubierta de tragedias
Ni rodar bajo crímenes entre fiebres sangrientas
La tierra le ama
(Que siempre sea así)
Quiere su luz de flor meditativa
Quiere su dicha como un canto necesario a la marcha”*

-Voz de esperanza (fragmento), Vicente Huidobro-

Índice general

Índice general.....	5
Índice de tablas	8
Índice de figuras	9
I. Resumen	10
II. Introducción y marco teórico	11
2.1 Calidad del suelo	13
2.1.1 Indicadores cuantitativos de calidad del suelo	15
2.2 Agrodiversidad	23
2.2.1 Diversidad como indicador de salud ambiental.....	24
2.2.2 Fito-agrodiversidad	25
2.2.3 Biodiversidad como servicio ecosistémico.....	27
2.3 El socioambiente	29
2.3.1 Actores locales	30
2.3.2 Manejo agrícola como proceso de alteración ecosistémica	30
2.3.3 Servicios ecosistémicos de suelo agrícola.....	33
2.3.4 La percepción humana sobre el impacto ambiental del manejo y los servicios ecosistémicos	35
2.3.5 Agricultura: patrimonio biocultural.....	36
III. Justificación.....	38
3.1 Contexto en México	39
IV. Objetivos.....	40

4.1	Objetivo general.....	40
4.2	Objetivos particulares	40
V.	Método.....	41
5.1	Área de estudio	41
5.1.1	Descripción geográfica	41
5.1.2	Descripción ambiental.....	42
5.1.3	Descripción socioeconómica	47
5.2	Trabajo de campo.....	50
5.2.1	Selección de milpas	50
5.2.2	Métodos de muestreo.....	50
5.2.3	Levantamiento de entrevistas y cuestionarios	51
5.3	Trabajo de laboratorio	52
5.3.1	Indicadores de calidad del suelo	52
5.3.2	pH y conductividad eléctrica	54
5.3.3	Bases intercambiables.....	54
5.3.4	Materia orgánica y textura.....	56
5.3.5	Densidad aparente y porcentaje de humedad.....	56
5.3.6	Densidad real, pedregosidad y porosidad.....	57
5.4	Trabajo de gabinete – Procesamiento de datos	58
	Índice de Shannon-Wiener.....	58
	Índice de Simpson	58
	Índice de Sörensen	59
5.4.1	Análisis estadístico	59

5.4.1.1	Análisis canónico de correspondencia	59
VI.	Resultados y discusión	60
6.1	Salud del suelo	60
6.2	Fitoagrodiversidad.....	69
6.2.1	Análisis canónico de correspondencia	75
6.3	Percepción social.....	77
6.3.1	Entrevistas semi-estructuradas a campesinos	77
6.3.2	Cuestionarios a niños y jóvenes	88
VII.	Conclusiones	90
7.1	Salud y calidad del suelo	90
7.2	Fitoagrodiversidad.....	91
7.3	Percepción de actores locales	91
VIII.	Perspectivas	92
IX.	Literatura citada	95
X.	Anexos	114
1.	Entrevista a agricultores.....	114
2.	Flora de Tlazala de Fabela, Estado de México.....	115

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios para evaluar el pH del suelo (NOM-021-REC-NAT-2000).....	16
Tabla 2. Clases de salinidad en relación a los valores de conductividad eléctrica (Adaptado de NRCS Soil Survey Handbook, USDA, 2011).....	17
Tabla 3. Criterios para definir el porcentaje de saturación de bases en un suelo a partir de los cationes intercambiables (cmol/Kg) en acetato de amonio a pH 7(NOM-021-SEMARNAT-2000).....	18
Tabla 4. Valores de densidad aparente en suelos y su clasificación (León y Hernández, 2012).....	20
Tabla 5. Relación general entre densidad aparente del suelo y el crecimiento de las raíces basado en la textura del suelo (USDA, Natural Resources Conservation Service, 2008).....	21
Tabla 6. Valores de densidad real en suelos y su clasificación (Hernández, 2012).....	22
Tabla 7. Lista de Servicios Ecosistémicos propuestos por TEEB, 2015.....	28
Tabla 8. Servicios ecosistémicos de tierras agrícolas (Adaptado de De Groot <i>et al.</i> , 2002 y Sandhu <i>et al.</i> , 2012).....	34
Tabla 9. Actividades económicas por sector para Isidro Fabela, Estado de México (Unidad de Microrregiones, SEDESOL 2013).....	48
Tabla 10. Anuario agrícola (SAGARPA, 2010).....	49
Tabla 11. Indicadores de calidad que se consideran en este estudio (Elaboración propia a partir de Doran y Parkin 1994; Doran y Parkin 1996; Karlen <i>et al.</i> 1997; Nortcliff 2002).....	53
Tabla 12. Propiedades físicas y químicas del suelo forestal y bajo tres manejos agrícolas en Tlazala de Fabela, Estado de México.....	60
Tabla 13. Porcentaje de cambio (positivo y negativo) entre milpas y el bosque cercano. Los asteriscos (*) indican diferencias significativas entre el tratamiento y el bosque (Kruskal-Wallis $p < 0.05$).....	62
Tabla 14. Representatividad de familias presentes en las milpas estudiadas en Tlazala de Fabela, Estado de México.....	69
Tabla 15. Valores de riqueza y diversidad de especies según tratamiento.....	70
Tabla 16. Coeficientes de semejanza florística entre los tres tratamientos agrícolas.....	73
Tabla 17. Resultados del análisis canónico de correspondencia de las parcelas estudiadas en Tlazala de Fabela, Estado de México.....	76

Índice de figuras

Figura 1. Triángulo de texturas (Adaptado de USDA-NRCS, 2017).....	20
Figura 2. Principales factores causantes de la degradación del suelo en México (SEMARNAT-CP, 2003).....	40
Figura 3. Ubicación geográfica y uso de suelo de la cuenca Presa de Guadalupe (Ávila-Akerberg, 2016)	42
Figura 4. Suelos dominantes en el municipio de Isidro Fabela, Estado de México. (INEGI, 2009).....	45
Figura 5. Ávila-Akerberg (comunicación personal, 2016)	46
Figura 6. Valores de densidad aparente obtenidos para suelo forestal y suelo agrícola con tres manejos diferentes en Tlazala de Fabela, Estado de México.....	64
Figura 7. Valores obtenidos para la porosidad en suelo forestal y agrícola bajo tres manejos diferentes en. 65	
Figura 8. Valores de porcentaje de humedad presente en suelo forestal y suelo agrícola con tres manejos diferentes en Tlazala de Fabela, Estado de México.....	66
Figura 9. Valores de materia orgánica presente en suelo forestal y suelo agrícola con tres manejos diferentes en Tlazala de Fabela, Estado de México.....	66
Figura 10. Valores de conductividad eléctrica obtenida para los cuatro tratamientos en Tlazala de Fabela, Estado de México.....	67
Figura 11. Representación gráfica de los valores de diversidad obtenidos en suelo agrícola según el manejo en Tlazala de Fabela, Estado de México.	72
Figura 12. Representatividad de especies por nivel de tolerancia o exclusividad encontradas en este estudio según el manejo agrícola	73
Figura 13. Usos de las especies vegetales encontradas en las milpas estudiadas en Tlazala de Fabela, Estado de México.	74
Figura 14. Análisis canónico de correspondencia (ACC). Valores de las propiedades del suelo y tratamientos por parcela de muestreo incluyendo al bosque, en Tlazala de Fabela, Estado de México. MT= Manejo Tradicional, MM= Manejo Medio, MI= Manejo intensivo y B= Bosque. Los números indican la unidad de muestreo.	76
Figura 15. Frecuencia de aparición de cultivos en las milpas de los agricultores entrevistados en Tlazala de Fabela, Estado de México.	79
Figura 16. Elementos naturales y sistentizados utilizados en Tlazala para la fertilización de la tierra.	80
Figura 17. Uso de plaguicidas y herbicidas en los cultivos en Tlazala, Estado de México.	80
Figura 18. Respuestas sobre el motivo por el cual se siembra en Tlazala de Fabela, Estado de México. El tamaño de la palabra es proporcional a la frecuencia con la que la palabra fue dada como respuesta. 82	
Figura 19. Respuestas obtenidas a la pregunta “¿Qué es el medio ambiente?”	84
Figura 20. Cambios observados en el medio ambiente por los pobladores de Tlazala	85
Figura 21. Respuestas obtenidas sobre cuáles son los problemas en la agricultura de Tlazala de Fabela, Estado de México.....	86
Figura 22. Personas que trabajan su milpa según encuestas a niños de Tlazala de Fabela, Estado de México.	88
Figura 23. Respuestas de los niños a la pregunta “¿Por qué te gusta sembrar?”, el Tlazala de Fabela, Estado de México.	89

I. Resumen

El suelo es el componente base de la vida terrestre, y es uno de los subsistemas que ha sido más impactado por las actividades humanas (Doran y Parkin, 2006). El incremento de la población humana, la necesidad de generar la mayor producción en el menor tiempo posible y la falta de información sobre los impactos generados por el manejo agrícola y su intensificación han propiciado la pérdida de vegetación natural y erosionado el suelo, el cual es abandonado y posteriormente transformado en suelo habitacional.

La evaluación de la calidad y salud del suelo nos permite conocer, a partir de indicadores que responden a las propiedades del suelo, el estado de su degradación. Por otro lado, la biodiversidad de las parcelas es un punto clave para promover la sustentabilidad de los paisajes agrícolas y mantener su capacidad de proveer servicios ecosistémicos (Termorshuizen y Opdam, 2009; Plieninger *et al.*, 2014; Van Zanten *et al.*, 2014). El estudio que se presenta a continuación se realizó en el poblado periurbano de Tlazala, ubicado en el Estado de México a 50 kilómetros al noroeste de la Ciudad de México. Para este estudio se compararon los suelos de tres manejos agrícolas que difieren en grado de intensificación (tradicional, medio e intensivo) utilizando indicadores físicos y químicos. El suelo forestal aledaño fungió como referencia. Para conocer la fitoagrodiversidad se obtuvo la cobertura de cada especie, la riqueza y se utilizaron índices de diversidad. Se realizaron entrevistas semi-estructuradas a campesinos y encuestas a los niños y jóvenes de Tlazala para conocer cómo es que perciben el manejo agrícola y el medio ambiente.

Los resultados de salud del suelo presentaron diferencias significativas únicamente al comparar el suelo agrícola con el forestal, entre tratamientos agrícolas sólo se observan tendencias de degradación a medida que se intensifica el manejo. La diversidad vegetal es mayor y más heterogénea en las milpas tradicionales, y menor y más homogénea en milpas intensivas. La mayoría de los agricultores entrevistados no perciben la relación que tiene el manejo que dan a su parcela con el ambiente a mayor escala. Se perciben servicios de suelo agrícola de aprovisionamiento y culturales pero ninguno de soporte ni de regulación. Las milpas en Tlazala pueden encontrarse en riesgo ya que la siembra de maíz no es redituable económicamente, no se reciben apoyos gubernamentales adecuados, y quienes la practican son en su mayoría abuelos de familia ya que los jóvenes no muestran interés en continuar con esta labor.

II. Introducción y marco teórico

En la biósfera, el suelo es un componente fundamental que indica la salud ambiental que presenta un lugar determinado. Su existencia representa la diferencia entre la supervivencia y la extinción para la mayor parte de la vida terrestre (Doran *et al.*, 1996) y por lo tanto su conservación es indispensable para la vida como la conocemos, ya que es hábitat de muchos organismos, funge como fuente de nutrientes y soporte para la vida vegetal que es el eslabón base para la trama trófica y la biodiversidad. La evaluación de la calidad y salud del suelo es una herramienta fundamental para conocer el estado de salud de este sistema y promover su manejo racional, así como la generación de estrategias que permitan tanto su aprovechamiento como su conservación. Para esta evaluación se analizan sus propiedades, y se comparan con sistemas de referencia y con sistemas bajo diferente manejo. Este análisis puede permitir seleccionar, desarrollar y promover estrategias agrícolas de menor impacto y que aseguren tanto el bienestar ambiental como la seguridad alimenticia.

Existe una estrecha relación entre los productos alimenticios, la forma en que son producidos (manejo agrícola), y la calidad ecológica (Cohen *et al.*, 2015) y biocultural de los pueblos. El balance entre la viabilidad económica y la destrucción ambiental frecuentemente depende de cómo se maneja el recurso base que es el suelo. Este sistema es degradado en las áreas agrícolas, a través de la erosión del viento o del agua, de la acidificación, la salinización, la pérdida de materia orgánica, la contaminación del suelo y el cambio de su uso. El crecimiento demográfico impulsa el cambio de uso de suelo de tierras agrícolas a zonas suburbanas, lo cual hace que sean aún más escasas y que nuevas áreas de cultivo se consigan a partir de la deforestación (Brady y Weil, 2008).

Las tierras de cultivo y pastizales representan el bioma terrestre más amplio, abarcando 40% de la superficie terrestre del planeta (Asner *et al.*, 2005; Foley *et al.*, 2005), cinco mil millones de hectáreas en el mundo son agroecosistemas y 1500 millones de hectáreas son tierras arables (Sandhu *et al.*, 2015). La necesidad de aumentar la eficiencia tiempo-producción y la falta de información sobre el impacto que el manejo agrícola tiene en el ambiente, ha promovido la intensificación de las prácticas agrícolas aumentando la cantidad de agua, energía, fertilizantes, pesticidas y herbicidas (Benayas *et al.*, 2007), y a la vez propicia el manejo homogeneizado de la

actividad agrícola a costa de los saberes locales. El suelo agrícola es degradado hasta el punto de perder su resiliencia y la capacidad de mantener sus ciclos naturales. Para el año 2000 se estimó que el suelo degradado por causa de actividades agrícolas correspondía a 12,400,000 km² (Bot *et al.*, 2000). Esta degradación conduce a los agricultores a abandonar sus parcelas en busca de nuevas tierras fértiles, en ocasiones a costa de la remoción de la vegetación forestal natural, lo cual ha dado lugar a importantes problemas ambientales en el mundo (Benayas *et al.*, 2007). De hecho, la conversión de vegetación natural a usos agropecuarios es una de las causas más importantes de deforestación en América Latina (FAO, 2003), y uno de los factores principales que provoca la degradación de los suelos (PNUMA-SEMARNAT-INECC, 2004). El 45.1% de los suelos en México se encuentran degradados por acción humana, 28.6% se encuentran estables o sin degradación aparente y 25.9% se encuentran sin uso (SEMARNAT-CP, 2003). En el caso del Estado de México la degradación representa 61.29% de la superficie (SEMARNAT-CP, 2003), siendo la mayor contribuyente la degradación química.

Debido a la presión ejercida por el crecimiento poblacional, el cambio de uso de suelo es un foco importante de contemplar en estos tiempos, ya que implica pérdida de suelo forestal y con ello pérdida de los múltiples beneficios que brinda a todos los seres vivos (purificación del aire y agua, descomposición y detoxificación de desechos, regulación del clima, formación del suelo, producción y mantenimiento de la biodiversidad, etc.). En este contexto, la identificación del estado de salud y calidad del suelo es necesaria para conocer qué tipo de manejo promueve su conservación, productividad y función ambiental, y con ello disminuir la pérdida de suelo forestal para uso agrícola y promover el bienestar de los seres vivos y su armonía con el ambiente.

Tlazala, cabecera municipal de Isidro Fabela y área de estudio de esta investigación, se localiza a menos de 50 kilómetros al noroeste de la Ciudad de México. Este poblado se considera zona rural, y a pesar de su cercanía a la metrópoli y al área conurbada, mantiene un alto porcentaje de vegetación forestal (75.81%; Ávila-Akerberg, com. pers.). Es la región del territorio mexiquense con mayor aportación de escurrimientos a tres de los grandes ríos del país: Balsas, Pánuco y Lerma (García, 1990), por lo tanto permite gran cantidad de servicios ecosistémicos. En Tlazala se realizan actividades agrícolas y culturales de forma tradicional. La agricultura que se realiza en esta región es en su mayoría de consumo para consumo familiar, sin embargo algunos agricultores venden sus productos dentro de Tlazala, mientras que otros se inclinan por la venta

fuera del poblado. Estos últimos utilizan la agricultura como fuente principal de ingresos, y por lo tanto invierten más tiempo y recursos en aumentar su producción.

Por sus características, condiciones y accesibilidad, se ha elegido el poblado de Tlazala como sitio de estudio para evaluar la salud del suelo y fitodiversidad. Su condición rural y cercanía a la Ciudad de México permiten un mosaico de manejos distintos que van desde el tradicional hasta el intensivo, por lo que representa un área vulnerable a la urbanización y pérdida de vegetación natural. Por otro lado, resulta importante conocer cómo es que los tomadores de decisiones, en este caso, los agricultores, perciben el impacto generado por el manejo, el uso de recursos y los servicios ecosistémicos, y conocer cuál es la tendencia agrícola de esta zona.

Este trabajo de investigación se presenta dentro del contexto de desarrollo social sostenible.

2.1 Calidad del suelo

“El equilibrio, mezcla en proporciones justas de todos los agentes vitales, empieza por la salud del suelo” (Pfeiffer, 1942: pág. 9)

“El suelo es un cuerpo natural, que participa en intercambios dinámicos con la atmósfera y los estratos inferiores. Influye en el clima planetario y en el ciclo hidrológico y sirve como medio de crecimiento para una comunidad versátil de organismos. El suelo también es una pieza ambiental clave como reactor bio-físico-químico que descompone la materia y la recicla, dando lugar a nutrientes para la continua generación de la vida en la Tierra” (Hillel, 1998: pág. 3)

El suelo provee nutrientes para el desarrollo de las plantas que son esenciales para la alimentación humana y animal. Es el medio donde se reciclan materiales orgánicos e inorgánicos (Bezdicsek et al., 1996) y donde se llevan a cabo diversos procesos ambientales de regulación y soporte.

Doran (2002) define a la calidad o salud del suelo como *“la capacidad de un suelo vivo de funcionar, dentro de las barreras ecosistémicas naturales o manejadas, de sostener la productividad biológica, mantener y mejorar la calidad del aire y agua, y promover la salud vegetal y animal”*. En este contexto, Costanza et al. (1992) establecen que se puede decir que un sistema

ecológico se encuentra saludable si es activo, mantiene su organización y autonomía a través del tiempo y es resiliente al estrés. Entre las funciones básicas que un suelo saludable debe efectuar se encuentran: la promoción de la actividad y productividad de la biodiversidad, filtración, amortiguación, degradación y desintoxicación de materiales orgánicos e inorgánicos, control de la regulación y la repartición de los flujos de agua y de solutos, ciclaje de carbono y nutrientes, y la proporción de estabilidad física para las plantas y animales (USDA, 2015). Además, la calidad del suelo está conformada por dos componentes: uno inherente determinado por las condiciones físicas, químicas y biológicas del ambiente en el que se encuentra; y uno dinámico, influenciado por el manejo e intereses socioeconómicos, culturales y políticos (Doran y Parkin, 1996; Pankhurst *et al.*, 1997). La sostenibilidad de la agricultura y la calidad ambiental están determinadas por la calidad y salud del suelo (Pierzynski *et al.*, 1994; Acton y Gregorich, 1995). Por desgracia, la intensificación del manejo agrícola ha degradado considerablemente la calidad de los suelos de todo el mundo (Sanders, 1992; Oldeman, 1994; Benayas *et al.*, 2007) y reducido la calidad de los servicios que proveen los ecosistemas.

Como sistema complejo, el suelo se caracteriza por tener propiedades cuantificables que pueden ser usadas para su evaluación e indicarnos cambios adversos que ha sufrido debido a procesos de degradación (Dominati *et al.*, 2010). Los principales procesos que afectan negativamente la salud y calidad del suelo en tierras de uso agrícola son: la erosión, compactación, lixiviación de nutrientes, reducción de la fertilidad, pérdida de materia orgánica, acidificación, contaminación y pérdida de biodiversidad (Bezdicsek *et al.*, 1996). Los cambios en el suelo tienen lugar en presencia y ausencia de actividad humana e incluso en algunos lugares ocurren rápidamente bajo condiciones naturales. Sin embargo, la interferencia del humano ha modificado y acelerado dichos procesos, creando condiciones bajo las cuales nuevos procesos (que antes no ocurrían o eran insignificantes) entran en juego (Blaikie y Brookfield, 2015).

La calidad del suelo es uno de los vínculos principales entre los sistemas agrícolas de conservación y los principales objetivos de la agricultura sostenible (Parr *et al.*, 2002; Acton y Gregorich, 1995). Es una herramienta útil para evaluar los impactos generados en el suelo y en la biodiversidad agrícola producto de las prácticas de manejo.

2.1.1 Indicadores cuantitativos de calidad del suelo

Debido a la diversidad de aproximaciones que se pueden utilizar para estudiar la degradación del suelo, que presentan los suelos es complicado establecer un sistema único para su medición (SEMARNAT, 2013). Para determinar su calidad se utilizan indicadores que responden a mediciones de las propiedades del suelo que pueden reflejar las condiciones de un sistema o la capacidad que tiene para mantener sus funciones (USDA, 2015). Además, estos indicadores son útiles como herramienta de comunicación (Müller y Burkhard, 2012).

Los criterios para determinar los indicadores utilizados para conocer la calidad y salud del suelo se relacionan principalmente con la capacidad que tienen para definir procesos ecosistémicos e integrar propiedades físicas, químicas y biológicas, su sensibilidad al manejo y a las variaciones climáticas, y su accesibilidad, utilidad y repetibilidad (Doran y Parkin, 1996). Las propiedades más sensibles al manejo son las más deseadas como indicadores (Arshad y Coen, 1992).

2.1.1.1 Indicadores químicos

Los atributos químicos de la salud del suelo se relacionan con su capacidad de proporcionar nutrientes para las plantas y/o retener elementos o compuestos químicos nocivos para el medio ambiente y el crecimiento de las plantas (Cardoso *et al.*, 2013). Son útiles en la consideración de la capacidad del suelo para sostener la producción forestal o agrícola, para mantener los ciclos de nutrientes, la biomasa vegetal y la materia orgánica (Schoenholtz *et al.*, 2000).

Las prácticas de arado y la aplicación de fertilizantes pueden alterar los niveles de reacción del suelo, los niveles de nitrato, el carbono orgánico total (TOC) y el contenido de fósforo (USDA, 2015). El análisis realizado por Bulluck *et al.* (2002) muestra que existe correlación significativa entre suelos con aplicación de fertilizantes y los factores químicos y biológicos del suelo.

Potencial de Hidrógeno (pH)

La reactividad del suelo (pH) se refiere a su grado de alcalinidad o acidez. Es un indicador clave ya que se relaciona directamente con la disponibilidad, solubilidad y movilidad de nutrientes y

metales, además de afectar directamente la actividad microbiana (Sousa *et al.*, 2007). Afecta a la saturación porcentual, a la capacidad de amortiguamiento, al intercambio catiónico.

En la Tabla 1 se muestran los valores establecidos por la NOM-021-REC-NAT-2000 para categorizar los suelos según su pH. La mayoría de las plantas crecen en pH entre 6 y 7.5, aunque algunas lo prefieren más ácido o básico (USDA, 2015). En el caso del maíz (*Zea mays*), crece de forma óptima en pH entre 5.5 y 7, con una tolerancia entre 5 y 8 (Porta *et al.*, 2003).

Tabla 1. Criterios para evaluar el pH del suelo (NOM-021-REC-NAT-2000).

Categoría	Valor del pH
Fuertemente ácido	<5
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	8.5

Conductividad eléctrica (CE)

Se refiere a la habilidad del agua del suelo de transportar corriente eléctrica a través de los aniones y cationes provenientes de las sales minerales disueltas. Los factores que afectan esta propiedad son la cantidad y el tipo de sales solubles en solución, la porosidad, la textura del suelo (especialmente el contenido de arcilla y la mineralogía), la humedad del suelo y su temperatura (USDA, 2011). En general, la CE aumenta a medida que aumenta el contenido de arcilla y la humedad.

En el campo agrícola, la conductividad eléctrica se ha utilizado principalmente para medir la salinidad del suelo (USDA, 2015) y para inferir la concentración relativa, la extensión y el movimiento de los desechos animales en los suelos. La mayoría de los microorganismos son sensibles a la salinidad (alta CE), es por esto que algunos procesos microbianos, incluyendo la respiración y la nitrificación, disminuyen a medida que la CE aumenta. En la Tabla 2 se muestran los valores de CE y su relación con la salinidad del suelo. Altos niveles de CE (CE > 4 dS/M) nos pueden indicar problemas de salinidad que impiden el crecimiento del cultivo (por incapacidad para absorber el agua).

Tabla 2. Clases de salinidad en relación a los valores de conductividad eléctrica (Adaptado de NRCS Soil Survey Handbook, USDA, 2011).

Conductividad eléctrica (dS/m)	Clase de Salinidad
0 < 2	No salino
2 < 4	Ligeramente salino
4 < 8	Poco salino
8 < 16	Moderadamente salino
>16	Altamente salino

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Esta propiedad se define como la cantidad de cationes intercambiables que un suelo puede absorber (Brady y Weil, 2008). Está determinada por las cantidades relativas de diferentes coloides en el suelo y por su capacidad de intercambio. Su determinación se basa en la habilidad que posee un catión índice en reemplazar un catión nativo.

Las partículas de arcilla y de la MO del suelo tienen cargas negativas y son capaces de adsorber cationes en solución del suelo (Martínez Alva, 2015). A través del intercambio catiónico, los iones de hidrógeno de los pelos radiculares y de los microorganismos reemplazan a los cationes de la superficie de intercambio. Estos son forzados a la solución del suelo, en donde pueden ser asimilados y absorbidos por las raíces y los organismos. La CIC depende a su vez del pH; si aumenta el pH aumenta la CIC (Porta *et al.*, 2003).

A partir de la CIC es posible inferir acerca del tipo de arcilla presente en el suelo, de la magnitud de la reserva nutrimental y del grado de intemperismo de los suelos. Los suelos minerales enriquecidos con materia orgánica, o con fertilizantes químicos (por ejemplo NH_4OH) tienen mayor CIC que los suelos no enriquecidos. Esto se debe a que la materia orgánica mejora la capacidad de retención de agua del suelo y a que los fertilizantes sintéticos aumentan el contenido de sales (USDA, 2011).

El porcentaje de saturación de bases es un dato ampliamente usado en los estudios pedológicos y de fertilidad, y se puede conocer a través de la CIC. A continuación (Tabla 3) se muestra la clasificación de valores para CIC según su concentración;

Tabla 3. Criterios para definir el porcentaje de saturación de bases en un suelo a partir de los cationes intercambiables (cmol/Kg) en acetato de amonio a pH 7(NOM-021-SEMARNAT-2000).

Clases	Ca	Mg	K
Muy baja	<2	< 0.5	< 0.2
Baja	2 - 5	0.5 - 1.3	0.2 – 0.3
Media	5 - 10	1.3 – 3	0.3 – 0.6
Alta	> 10	> 3	> 0.6

Materia orgánica (MO)

La materia orgánica consiste en un amplio rango de sustancias carbonáceas, incluyendo seres vivos (biomasa) residuos de organismos, y compuestos orgánicos producidos por el metabolismo que se lleva a cabo en el suelo. La MO de suelos agrícolas se compone principalmente de biopolímeros de residuos de plantas, polisacáridos, ligninas, proteínas y materiales cuniculares (Martínez Alva, 2015).

La materia orgánica y los atributos biológicos dan forma a la estructura física del suelo y son responsables de su compactación o soltura (Brady y Weil, 2008), y por lo tanto de la aireación y de los procesos hidrológicos (erosión, el drenaje, la esorrentía, almacenamiento e infiltración), que son fundamentales para el suministro de agua y nutrientes en el suelo. La materia orgánica tiene una alta capacidad de almacenamiento de agua. Esta capacidad se ve favorecida bajo la presencia de sustancias húmicas debido a las cargas de sus grupos carboxílicos y fenólicos que atraen a la molécula de agua y por lo tanto reducen su filtración a través del perfil del suelo (Cardoso *et al.*, 2013). Gran parte de las funciones que desempeña la MO se atribuyen a las propiedades de las sustancias húmicas las cuales ejercen una influencia positiva en el crecimiento de las plantas (Kononova, 1982) y la adsorción de pesticidas (Neher y Barbercheck, 2000). Por sus propiedades de intercambio catiónico, la materia orgánica tiene la capacidad de disminuir las concentraciones de sales e iones tóxicos en la solución del suelo (Müller-Wegener, 1988).

La MO es la fuente principal de nitrógeno y la mayor fuente de fósforo y azufre para la mayoría de las plantas. Tiene un papel fundamental en la fertilidad del suelo ya que controla su actividad microbológica siendo la mayor fuente de carbono y energía para los microorganismos (Brady y Weil, 2008). La biomasa microbiana del suelo es la parte viva de la materia orgánica en el

suelo. Se encuentra formada por hongos, bacterias, protozoos y algas, y representa una fuente fundamental de nutrientes que pueden abastecer lo que la planta exige debido a su ciclo rápido (Sicardi *et al.*, 2004). El balance entre la acumulación de materia orgánica en el suelo y la respiración microbiana tiene implicaciones globales, ya que el CO₂ es el principal causante del efecto invernadero (Brady y Weil, 2008).

La MO se utiliza como el indicador central de la calidad y salud del suelo. Su disminución reduce significativamente el abastecimiento de nitrógeno dando lugar al deterioro en las condiciones físicas del suelo que genera reducción en la productividad de los cultivos (Ding *et al.*, 2002).

2.1.1.2 Indicadores físicos

Los indicadores físicos como la textura, el porcentaje de humedad, la densidad aparente y la porosidad se correlacionan con procesos hidrológicos como la erosión, la aireación, la escorrentía, la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua (Schoenholtz *et al.*, 2000). En general, un suelo se considera físicamente pobre cuando muestra bajas tasas de infiltración de agua, aumento en la escorrentía superficial, escasa cohesión, falta de ventilación y densidad de las raíces, y dificultad para la mecanización (Dexter, 2004). Las propiedades físicas del suelo y las comunidades microbianas que habitan en él se influyen mutuamente (Degens *et al.*, 2000), y ambos se ven afectados por la materia orgánica.

Textura

Se refiere a la distribución de los tamaños de partículas que componen la fracción mineral del suelo menor a 2 mm de diámetro y se denominan; arcilla, limo y arena. Tal como se observa en la Figura 1, esta representación porcentual de los tres tamaños de partículas determina el tipo de suelo de estudio.

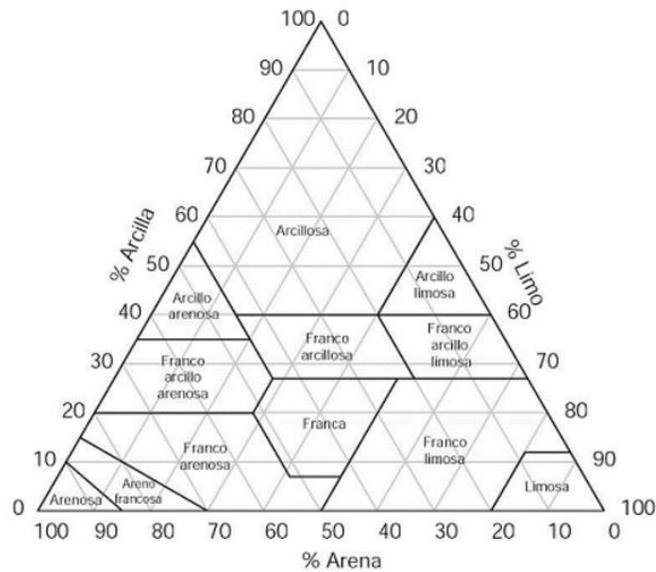


Figura 1. Triángulo de texturas (Adaptado de USDA-NRCS, 2017).

La textura es un factor importante que afecta el equilibrio entre el agua y los gases, la capacidad de almacenamiento de nutrientes y materia orgánica, y la vulnerabilidad a la erosión. Sin embargo, es una propiedad muy estable a lo largo del tiempo e independiente del manejo del suelo.

Densidad aparente y porosidad

La densidad aparente (DA) se define como la masa del suelo presente en una unidad de volumen conocida. Este volumen incluye el espacio poroso ocupado por el aire y líquidos. Por lo tanto la DA depende directamente de la composición y de las condiciones estructurales del suelo, y tiende a variar según la clase textural del mismo (Chan, 2006; Brady y Weil 1996). Dependencia que se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de densidad aparente en suelos y su clasificación (León y Hernández, 2012).

Densidad (g/cm ³)	Clasificación	Tipo de suelo
1.4-1.6	Alta	Arenosos
1.0-1.4	Media	Arcillosos
0.6-0.9	Baja	Volcánicos
0.10-0.40	Muy baja	Orgánicos
>1.60	Muy alta	Compactados

La densidad aparente y la porosidad son dos propiedades que se encuentran estrechamente relacionadas, ya que a medida que la densidad aparente aumenta la porosidad disminuye por compactación entre partículas. La primera refleja la capacidad del suelo para proveer soporte estructural, permitir el movimiento del agua y solutos, y la aireación del suelo (Beutler *et al.*, 2002). Es un indicador de la compactación del suelo que depende de su textura (arena, limo y arcilla), de la densidad de los minerales que lo conforman, de las partículas de materia orgánica y de su arreglo. En general, los suelos porosos y sueltos y/o ricos en materia orgánica tienen una menor densidad aparente. Los suelos arenosos tienen densidad aparente relativamente alta ya que el espacio total entre poros es menor.

El manejo de la tierra altera la densidad aparente a través de prácticas que afectan a la cobertura del suelo, la materia orgánica, la estructura del suelo y la porosidad. La remoción de la cobertura vegetal fomenta la erosión hídrica, ya que disminuye la infiltración y aumenta la compactación. Las partículas del suelo erosionado llenan el espacio de los poros, la porosidad disminuye y la densidad aparente aumenta. Esta situación puede provocar mala circulación del aire y agua y dificulta el enraizamiento superficial de las plantas, lo cual influye en el rendimiento del cultivo y la reducción de la cubierta vegetal disponible para proteger el suelo de la erosión (USDA, 2008).

A largo plazo un arado intenso incrementa la densidad del suelo ya que agota la materia orgánica y debilita la estructura del suelo. Este efecto puede reducirse al agregar residuos vegetales y estiércol, así como la rotación de zonas de cultivo (Brady y Weil, 2008) y el descanso del suelo. La densidad aparente por encima de los umbrales de la Tabla 5 indica alteración de su función.

Tabla 5. Relación general entre densidad aparente del suelo y el crecimiento de las raíces basado en la textura del suelo (USDA, Natural Resources Conservation Service, 2008).

Textura del suelo	Densidad aparente ideal para el crecimiento vegetal (g/cm ³)	Densidad aparente que restringe el crecimiento de las raíces (g/cm ³)
Arenoso	<1.60	>1.80
Limoso	<1.40	>1.65
Arcilloso	<1.10	>1.47

Densidad real y porcentaje de humedad

La densidad real (DR) o densidad de partículas se define como la masa de las partículas del suelo, dividida por el volumen ocupado por los sólidos, excluyendo el espacio poroso. Depende directamente de la composición química, de la proporción de los minerales que constituyen el suelo y de la estructura cristalina de la fracción mineral del suelo (Brady y Weil, 1996). En la Tabla 6 podemos observar cómo se relaciona la densidad real con el tipo de suelo.

El agua disuelve minerales y contaminantes y los transporta, haciendo posible su absorción por los organismos animales y vegetales. Ya que el contenido de agua disponible es un factor determinante de la actividad microbiana en el suelo, a mayor porosidad, mayor porcentaje de humedad y por lo tanto mayor actividad.

Tabla 6. Valores de densidad real en suelos y su clasificación (Hernández, 2012).

Densidad (g/cm ³)	Clasificación	Tipo de suelo
>2.7	Muy alta	Minerales pesados
2.5 – 2.7	Alta	Mineral
2 – 2.5	Media	Minerales volcánicos
1.2 – 1.9	Baja	Orgánicos

2.1.1.3 Indicadores biológicos

Con el paso del tiempo se han descrito muchos indicadores biológicos de calidad del suelo como: materia orgánica particulada, nitrógeno potencial mineralizable, lombrices, respiración y enzimas del suelo, carbono orgánico total (USDA, 2015), biomasa microbiana, etc. En este estudio únicamente se utilizará la presencia/ausencia de lombrices en el suelo.

Presencia de lombrices

La diversidad en forma y función de las comunidades bióticas resulta en la formación de la heterogeneidad espacial y temporal de organismos, que contribuye al funcionamiento general del ecosistema (Collins y Qualset, 2000).

En general, las lombrices de tierra viven en medios con gran cantidad de materia orgánica. Descomponen y mezclan los restos orgánicos y minerales del suelo por fragmentación mecánica, favoreciendo la estructura y la actividad de bacterias y hongos (Porta *et al.*, 2003). A través de sus procesos fisiológicos regulan el contenido de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} y PO_4^{3-} (Altaba *et al.*, 1991). A su paso abren canales que facilitan el movimiento de agua y aire, el crecimiento de las raíces y el movimiento de otra fauna a horizontes más profundos.

Los disturbios pueden alterar la diversidad de un ecosistema directamente afectando la supervivencia de los individuos o indirectamente cambiando los niveles de recursos disponibles (Hobbs y Huenneke, 1992; Neher y Barbercheck, 2000). La intensidad de los cambios en el sistema de uso de la tierra puede eliminar algunas especies esenciales para los procesos bioquímicos (Kouadio *et al.*, 2009), situación que compromete la sostenibilidad del sistema.

2.2 Agrodiversidad

La biodiversidad es la variabilidad que existe entre especies, así como entre niveles de organización, ecosistemas y paisajes. La función de los ecosistemas está ligada muy estrechamente con la diversidad a niveles de especie y población y cambios en ella pueden influir en el suministro de los servicios ecosistémicos (Naeem *et al.*, 1995; Worm *et al.*, 2006; Ávila-Akerberg, 2010; Cardinale *et al.*, 2012). Esta relación a la vez se encuentra influenciada por interacciones entre elementos o especies (Gray *et al.*, 2014) que recaen directamente en las condiciones y disponibilidad que provee un hábitat (Liquete *et al.* 2015). La riqueza (número de especies diferentes), la equitabilidad (equidad de elementos entre sistemas) y la heterogeneidad (disparidad entre elementos y sus funciones) son herramientas útiles para conocer esta variabilidad (Balvanera *et al.*, 2014).

Los aspectos funcionales de la biodiversidad y sus componentes estructurales han ido aumentando en importancia en los ecosistemas agrícolas (Büchs, 2003) ya que dependen de una reserva con alta variabilidad que complementa y promueve la biodiversidad en su estado natural (Collins y Qualset, 2000), los servicios que los agroecosistemas proveen, su función ambiental y la producción agrícola (Firbank *et al.*, 2008, Cong *et al.*, 2014). Como agroecosistema, la milpa

mantiene funcionando algunos de los principios ecológicos de un ecosistema (Aguilar *et al.*, 2003; Challenger, 1998).

2.2.1 Diversidad como indicador de salud ambiental

A costa de satisfacer las necesidades humanas las tasas de biodiversidad están disminuyendo muchas veces más rápido que lo que se encuentra en los registros fósiles (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Esta situación, producto de la urbanización y del uso indiscriminado del ambiente ha generado preocupaciones sobre las consecuencias que puede tener en la función de los ecosistemas y en el bienestar terrestre y humano (Chapin *et al.*, 2000; Loreau *et al.*, 2001; Kinzig *et al.*, 2002; Díaz *et al.*, 2005; Hooper *et al.*, 2005; MEA, 2005; Srivastava y Vellend 2005).

En ambientes forestales, el carbono y nitrógeno proporcionado por los residuos vegetales mantienen la salud del suelo. Al alterar este aporte natural de nutrientes removiendo la vegetación forestal para crear campos de cultivo, los indicadores biológicos se ven fuertemente afectados por cambios en la cantidad y calidad de los residuos vegetales (Fagotti *et al.*, 2012; Bini *et al.*, 2013). Por otro lado, la diversidad permite a los organismos evadir la intensa competencia por alimentación o espacio, disminuye la invasión y mantiene el funcionamiento constante del ecosistema en presencia de condiciones ambientales fluctuantes (Collins y Qualset, 2000).

La contaminación de un ambiente elimina a las especies sensibles, reduciendo la competencia y promoviendo que las especies tolerantes proliferen (Atlas, 1984). Los cambios de uso de suelo generan extinción (Koyanagi *et al.*, 2009) y colonización de ciertas especies. Esta dinámica continúa hasta que la riqueza de especies alcanza el equilibrio con las nuevas propiedades espaciales del área (Cristofoli *et al.*, 2010), lo cual conduce a dos posibles hábitats de equilibrio; uno con alta diversidad y salud, y otro con baja diversidad y condiciones pobres (Osawa *et al.*, 2016).

2.2.2 Fito-agrodiversidad

La denominación de planta “arvense” hace referencia a aquellas acompañantes espontáneas o adventicias de los cultivos en los sitios perturbados para las actividades agrícolas (Chacón y Glieman, 1982). Estas arvenses forman parte de las tramas tróficas como productores primarios, pueden ser protectoras del suelo evitando la erosión, aportan materia orgánica y en ocasiones favorecen la presencia de insectos benéficos como enemigos naturales de las plagas (Hart, 1997; Altieri, 1988; Caamal y Bernardino, 2011).

La riqueza y la diversidad espacial se ven favorecidas cuando el manejo se hace con baja intensificación e integrando objetivos patrimoniales y paisajísticos, misma que se ve favorecida por la presencia de bordes alrededor de las parcelas (Cohen *et al.*, 2015). Jauzein (2001) y Fried *et al.* (2008) demostraron que la intensificación agrícola conduce a un aumento en las plantas anuales o generalistas que reemplazan a las arvenses especialistas. En contraste con sistemas poco diversos, los sistemas agrícolas biodiversificados promueven la regulación de malezas, enfermedades y pestes, y aumentan la polinización (Balvanera *et al.*, 2014).

La temperatura, la humedad, la concentración de nutrientes en el suelo, la labranza, la textura y la competencia con otras plantas son algunos factores responsables de la heterogeneidad en la distribución de las arvenses en los agroecosistemas (Amador y Escobedo, 2004). El uso excesivo de agroquímicos puede ser una presión de selección que favorezca una especie en particular (Neve, 2007), la cual enriquecerá el banco de semillas con sus propágulos (Caamal y Bernardino, 2011).

Durante algunos momentos del ciclo agrícola las arvenses compiten con los cultivos, disminuyendo la disponibilidad de recursos, lo cual desfavorece la producción. Monitorear las poblaciones de arvenses permite conocer cuáles son los momentos en los cuáles los cultivos se ven afectados negativamente por su desarrollo, y con ello generar acciones de manejo que eviten la competencia excluyente mientras que se aprovechen los beneficios que la presencia de arvenses brinda a la parcela (presencia de polinizadores, fijación de nitrógeno, aporte de materia orgánica, etc.).

2.2.2.1 Diversidad y riqueza vegetal

La diversidad de cultivos es una característica clave de la agrobiodiversidad dentro de los agroecosistemas que determina en gran medida el rendimiento y otros servicios de regulación (González-Esquivel *et al.*, 2015). Esta diversidad puede contribuir con el control biológico de plagas especializadas en cierto cultivo, promover la fertilidad del suelo y la polinización (Power, 2010), proveer refugio y fungir como presa alternativa de enemigos naturales (Altieri 2002, Gomiero *et al.* 2011, González-Esquivel *et al.*, 2015).

La riqueza de especies es el número total de elementos presentes en un sistema determinado, y es el componente de la biodiversidad más evaluado (Balvanera *et al.*, 2014).

La abundancia se define como el número total de individuos o su densidad (Magurran, 2004), mientras que la diversidad es el número total de especies vegetales más su abundancia proporcional en un área determinada (Ávila-Akerberg, 2010).

2.2.2.2 Diversidad alfa

Índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson

La equitabilidad se refiere a qué tan similares son las abundancias entre las especies, se presenta alta equitabilidad cuando la mayoría de las especies presentan una abundancia similar, mientras que la dominancia es el opuesto de la equitabilidad, es decir, que cierta especie domina sobre otras (Magurran, 2004). El índice de diversidad de Simpson evalúa el grado de dominancia entre especies, mientras que el índice de Shannon-Wiener evalúa la uniformidad de la abundancia relativa de cierta especie vegetal (Ávila-Akerberg, 2010).

2.2.2.3 Diversidad Beta

Índice de semejanza florística de Sørensen

Whittaker (1977) define la diversidad beta como “la magnitud de cambio en la composición de las especies a lo largo de un gradiente ambiental o entre diferentes comunidades en un paisaje”. Este concepto es muy utilizado en ecología para cuantificar, valorar y entender mejor la diversidad

biológica (Calderón-Patrón *et al.*, 2012), y el funcionamiento de los ecosistemas (Legendre *et al.*, 2005).

El índice de Sørensen (1948) relaciona el número de especies compartidas con la media aritmética de las especies de ambos sitios (Magurran 1988). Los valores de este índice van de 0 a 1 y se pueden expresar en porcentaje (Kent y Coker, 1992). Este índice, perteneciente a los coeficientes de similaridad, se ha utilizado principalmente para comparar comunidades con atributos similares (diversidad β ; Sonco, 2013).

2.2.2.4 Diversidad funcional de herbáceas

La diversidad funcional es un indicador del potencial que tienen ciertas especies para atraer polinizadores (González-Esquivel *et al.*, 2015), y como el autor citado propone, puede utilizarse la riqueza total y el índice de monocotiledóneas/dicotiledóneas para determinar esta diversidad. Este índice se centra en la capacidad de atracción de las especies, considerando en general, a las plantas dicotiledóneas atractivas y a las monocotiledóneas como poco atractivas.

2.2.2.5 Índice de especies exóticas/nativas

Balvanera *et al.* (2014) hacen énfasis en el papel que juega la riqueza de especies nativas para proveer servicios, y como herramienta para conocer posibles sinergias entre la conservación de la diversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Este índice se calcula a partir de la clasificación de los ejemplares y de la categorización de las especies como nativas o exóticas a través de la revisión de literatura (principalmente de fichas informativas de CONABIO). Posteriormente se divide el número total de especies exóticas entre el número de especies nativas por parcela (Ávila-Akerberg, 2010).

2.2.3 Biodiversidad como servicio ecosistémico

Los servicios ecosistémicos son aquellos componentes de los ecosistemas que se consumen directamente, se disfrutan, o contribuyen en generar condiciones adecuadas para el ser humano (Quijas *et al.*, 2010). Pueden utilizarse como una herramienta de política pública para proteger la diversidad a través del plan estratégico global del Convenio sobre la Diversidad Biológica (Liquete *et al.*, 2015).

Actualmente existe evidencia de cómo la pérdida de biodiversidad afecta el funcionamiento de los ecosistemas (Cardinale *et al.*, 2012), siendo las principales causas la fragmentación entre hábitats de desove, cría y crecimiento (McMahon *et al.*, 2012, Lee *et al.*, 2014) y la destrucción antropogénica de hábitats esenciales (Mangialajo *et al.*, 2008, Walters *et al.*, 2008, Zavalloni *et al.*, 2014). Este impacto puede compararse con otros fuertes motores del cambio global, incluyendo el calentamiento global, el aumento de dióxido de carbono atmosférico y la acidificación oceánica (Hooper *et al.*, 2012, Tilman *et al.*, 2012; Balvanera *et al.*, 2014). En el campo agrícola, la biodiversidad regula la capacidad del suelo de mantener a largo plazo las tierras de cultivo (Balvanera *et al.*, 2014). En la Tabla 7 se muestran algunos de los servicios ecosistémicos propuestos por The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) en 2015.

Tabla 7. Lista de Servicios Ecosistémicos propuestos por TEEB, 2015.

Servicios de aprovisionamiento	Alimentos
	Materia prima
	Agua fresca
	Recursos médicos
Servicios de regulación	Clima local y calidad del aire
	Almacenamiento y secuestro de carbono
	Amortiguamiento de eventos extremos
	Tratamiento de agua
	Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo
	Polinización
	Control biológico
Servicios de hábitat o de soporte	Hábitats para las especies
	Mantenimiento de la diversidad genética
Servicios culturales	Recreación y salud mental y física
	Turismo
	Apreciación estética e inspiración cultural y artística
	Experiencia espiritual y sentido del espacio

Ecosistémicamente, la biodiversidad opera de tres maneras; como regulador de procesos y funciones ecosistémicas, como proveedor de bienes tangibles materiales y como un bien por sí mismo (Mace *et al.*, 2012; Bastian, 2013). Además, se sabe que la biodiversidad es capaz de estabilizar la provisión de servicios ecosistémicos a través del tiempo (Tilman, 1996; Chapin *et al.*, 2000, Hooper *et al.*, 2005, Schindler *et al.*, 2010). Balvanera *et al.* (2014) establecen que “en principio, el suministro de servicios ecosistémicos se encuentra mediado por cada medición de la biodiversidad en cada nivel de organización”.

Debido al papel funcional que tiene la biodiversidad en los ecosistemas, tiene una relación positiva con los servicios ecosistémicos (Egoh *et al.*, 2009; Cardinale, 2011, Isbell *et al.*, 2011, Mace *et al.*, 2012, Harrison *et al.*, 2014) y funge como su pilar (MEA, 2005; Balvanera *et al.*, 2006; Cardinale *et al.*, 2006; Reiss *et al.*, 2009; Schmid *et al.*, 2009; UK NEA, 2010). Cuando se pueden relacionar las propiedades ecosistémicas con los servicios, se encuentran claros efectos positivos de la biodiversidad en los servicios de regulación y soporte (Srivastava y Vellend 2005; Balvanera *et al.*, 2006). Sin embargo, la naturaleza exacta de las relaciones cuantitativas que existen entre la biodiversidad y los componentes, procesos y servicios ecosistémicos es objeto de estudio actualmente y faltan conocimientos para comprenderla mejor (Loreau *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2006; Mace *et al.*, 2012; Bastian, 2013; UK NEA, 2010; Harrison *et al.*, 2014; Pascual *et al.*, 2015).

2.3 El socioambiente

El socioambiente se encuentra compuesto por elementos tangibles (bosques, ríos, personas, casas, ciudades, etc.) y por elementos intangibles (educación, valores, sentido de pertenencia, cultura, etc.), estos elementos interactúan de forma compleja y específica en determinado espacio y tiempo. Existen ciertos motores individuales y colectivos que generan tendencias sociales y ambientales. La sociedad, a partir de su construcción de elementos intangibles, producto del contexto y desarrollo, actúa directamente en los elementos tangibles al tomar decisiones que generan impactos en el medio físico. Es por esta razón que una teoría comprensiva de la degradación de la tierra requiere la combinación de herramientas analíticas de las ciencias naturales y sociales (Blaikie y Brookfield, 2015).

2.3.1 Actores locales

En un paisaje rural, las personas se encuentran relacionadas al ambiente de una forma más estrecha que en las urbes y ciudades ya que sus labores económicas, sociales y culturales dependen directamente de ello o se llevan a cabo incluyendo este aspecto de forma natural. Los agricultores son una parte fundamental de las comunidades y en muchas ocasiones preservan conocimientos tradicionales del medio ambiente y su manejo que han sido transmitidos por generaciones, producto de un proceso de observación y estudio de cientos de años.

El trabajo de la milpa y los conocimientos que lo conforman son parte del patrimonio biocultural de los mexicanos y la humanidad. Sin embargo, los agricultores no sólo responden a su cultura y tradiciones, ya que se encuentran sumergidos en un contexto globalizado y en muchas ocasiones se ven en la necesidad o deseo de participar en el mercado, situación que los hace dependientes de precios externos influenciados por la oferta y demanda. La necesidad de responder a cambios en las circunstancias en su ambiente social, político, y económico altera significativamente la forma de trabajar sus tierras y el impacto que generan en estas.

Los actores sociales tienen fuertes percepciones sobre los motores fundamentales que generan cambios en determinados servicios, y en particular, aquellos relacionados a la tierra agrícola (González-Esquivel *et al.*, 2015). Es por esto que conocer su percepción de la realidad es fundamental para comprender de manera más integral los problemas socioambientales.

2.3.2 Manejo agrícola como proceso de alteración ecosistémica

La agricultura es una forma de disturbio ecosistémico (Van der Maarel, 1993; Cohen *et al.*, 2015), y puede degradar la tierra cuando se realiza con falta de información. El MEA propone que la agricultura puede ser la actividad humana que representa la mayor amenaza para la biodiversidad y las funciones ecosistémicas.

El desarrollo se ha caracterizado por la tendencia a la máxima rentabilidad a corto plazo, lo cual hace que se olvide la importancia de promover la sostenibilidad del sistema para mantener su salud y con ello su función a largo plazo. Esta concepción del desarrollo se debe en parte al marco de referencia actual impulsado por los sistemas económicos que privilegian la rentabilidad

inmediata (Buud, 2002). Además, se utilizan tecnologías y agroquímicos de manera ineficiente (Vitousek *et al.*, 2009) producto de la premura, olvidando las aportaciones de las *tecnologías tradicionales* (Parr *et al.*, 2002).

La mayoría de la tierra sujeta a degradación es capaz de recibir un manejo más eficiente y racional del que recibe. La pregunta clave que generan Blaikie y Brookfield (2015) es por qué estas fallas en el manejo ocurrieron y si es que el problema ha sido percibido por las personas responsables en determinado espacio y tiempo.

La presión económica ejercida en el campo (Bouma *et al.*, 1998; Fukamachi *et al.*, 2001, 2005; Uematsu *et al.*, 2009; Torok *et al.*, 2011) ha generado dos tendencias del suelo agrícola; la intensificación y el abandono de tierras (Meeus, 1995; Uematsu *et al.*, 2009; Osawa *et al.*, 2013; Katayama *et al.*, 2015), escenarios que afectan la biodiversidad.

Benayas *et al.* (2007) identifican cinco problemas principales ligados al abandono de las tierras agrícolas (que indirectamente generan alteración de ambientes perturbados y naturales): la reducción de la heterogeneidad del paisaje, la erosión del suelo y desertificación, la disminución de las corrientes y almacenes de agua, la pérdida de biodiversidad y reducción de la población de especies adaptadas, y la pérdida de valores culturales y estéticos.

A pesar de que la agricultura tradicional de bajo impacto contribuye al mantenimiento de la biodiversidad (Tschardtke *et al.*, 2005), los campos mexicanos tienden a la intensificación, el uso de elementos y productos provenientes del mercado, y a la pérdida de los conocimientos tradicionales y con ello de la diversidad biológica y cultural. El uso de agroquímicos en la agricultura intensiva es el factor que impacta de manera más negativa las propiedades del suelo, incluso cuando se usan de forma semi-intensiva o controlada (Martínez-Alva, 2015). Este manejo también puede relacionarse con la resistencia de las plagas, fluctuaciones y exceso de nutrientes (MEA, 2005). Las amenazas antes mencionadas son más pronunciadas en paisajes de agricultura tradicional en zonas templadas (Farina, 1997; Bakker y Berendse, 1999; Robinson y Sutherland 2002; Selmi y Boulinier, 2003; Fukamachi *et al.*, 2005).

La intensificación del manejo depende del tipo de prácticas que se realizan, la frecuencia y la intensidad (Zechmeister *et al.*, 2003; Nascimbene *et al.*, 2013). El estudio realizado por Bulluck (2002) muestra que las correlaciones con la biodiversidad son más negativas en los campos con historia intensiva (con uso de fertilizantes sintéticos) mientras que las correlaciones son más positivas en campos con una historia de producción orgánica. Los paisajes naturales y los corredores biológicos que rodean las parcelas tienen un efecto positivo en la biodiversidad, así como las parcelas pequeñas (Fried *et al.*, 2008; Le Roux *et al.*, 2008; Belo *et al.*, 2009; Fahrig *et al.*, 2015; Chateil y Porcher, 2015).

La eliminación de la vegetación natural para uso de suelo agrícola hace que el sistema se vuelva abierto, creando una demanda externa de nutrientes causados por las cosechas, la lixiviación y la erosión (Brussaard *et al.*, 2004).

El manejo humano que no conduce a la degradación es posible y se ha conseguido frecuentemente en la historia humana (Blaikie y Brookfield, 2015). Este manejo consiste en aplicar y descubrir conocimientos referentes al uso de la tierra, de tal manera que se minimice o repare la degradación y se asegure que su función continuará a través del tiempo. Sin embargo, el rendimiento y la regulación de las plagas y enfermedades presentes en sistemas orgánicos biodiversos pueden no alcanzar las expectativas y necesidades de los agricultores (Kremen y Miles, 2012; Balvanera *et al.*, 2014).

2.3.2.1 Tipos de manejo

Se ha observado en gran cantidad de investigaciones que los sistemas convencionales difieren de forma significativa de los sistemas orgánicos en: cosecha, calidad del agua y suelo, el mantenimiento de la agrobiodiversidad y mitigación del cambio climático (Power, 2010; Gomiero *et al.*, 2011; Kremen y Miles, 2012).

Los sistemas de labranza y remoción de cobertura vegetal, disminuyen la materia orgánica y aumentan el proceso de erosión, lo que lleva a los cambios químicos, físicos y biológicos en el suelo. Acciones de este tipo promueven la dependencia externa de insumos, lo cual aumenta los costos de producción y pérdida de la autorregulación del sistema. Por otro lado, los sistemas de cultivo que generan menor impacto como la siembra directa y la agricultura orgánica son mucho

más dependientes de los procesos biológicos para su sostenibilidad (Reganold *et al.*, 1990; Lampkin y Measures, 2001; Mäder *et al.*, 2002; Kaschuk *et al.*, 2010). Este último tipo de manejo busca optimizar la salud del suelo y de los seres vivos (Reganold *et al.*, 2001), y producir alimentos de alta calidad de una forma ambiental, económica y socialmente sostenible (Wachter y Reganold, 2014). Pretty *et al.*, 2011 afirman que la investigación puede lograr que las prácticas agroecológicas aumenten el rendimiento de las prácticas orgánicas. Para 2006, el mercado global de productos orgánicos era de casi 27 mil millones de dólares anuales, con una estimación de crecimiento del 20% anual (Willer y Yussefi, 2006).

2.3.3 Servicios ecosistémicos de suelo agrícola

Para que algo se considere servicio ecosistémico debe aportar beneficios a la humanidad directa o indirectamente (Haines-Young y Potschin, 2010). Son una herramienta útil para la conservación y la valorización de la naturaleza. Sin embargo, por definición, tienen un enfoque antropocentrista (Liquete *et al.*, 2015).

Globalmente, los servicios ecosistémicos se han degradado con mayor intensidad durante los últimos 50 años (MEA, 2005), y la agricultura es una actividad humana que tiene potencial de dañar los servicios ecosistémicos, y de promoverlos a través del diseño racional de agroecosistemas (Porter *et al.*, 2009; Sandhu *et al.*, 2012; Sandhu y Wratten, 2013). El abastecimiento de los servicios de aprovisionamiento que proveen las tierras agrícolas (alimentos y forraje) han degradado otros servicios menos directos, pero fundamentales para los ecosistemas, como la regulación del clima y del agua, la biodiversidad y la protección de la erosión del suelo (Porter *et al.*, 2009).

Sandhu *et al.* (2012) y De Groot *et al.* (2002) identifican los servicios ecosistémicos asociados a agroecosistemas que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Servicios ecosistémicos de tierras agrícolas (Adaptado de De Groot *et al.*, 2002 y Sandhu *et al.*, 2012).

Aprovisionamiento	Alimentos, materia prima, recursos genéticos, medicinales y ornamentales
Soporte	Polinización, control biológico, acumulación de carbono, mineralización de nutrientes vegetales, formación de suelo y fijación de nitrógeno
Regulación	Regulación de gases y del clima, acumulación de carbono, amortiguamiento de disturbios, regulación y suministro de agua, control de la erosión y retención de sedimentos, tratamiento de desechos y refugio
Culturales	Estética, educación y recreación (artística, religiosa, espiritual, histórica y cultural)

Entre los servicios más importantes que aportan los agroecosistemas se encuentran la fertilidad del suelo, la regulación de la erosión, el control biológico y el mantenimiento de la biodiversidad que directa o indirectamente modula los cultivos (González-Esquivel *et al.*, 2015), mientras que la trituración y descomposición de la materia orgánica generada por los invertebrados y microorganismos, es uno de los servicios más importantes proporcionados por el suelo (Brady y Weil, 2008).

La intensificación de la agricultura degrada la calidad y cantidad de servicios potenciales, haciendo que la magnitud de los servicios que provee la agricultura orgánica sea mucho mayor (Mäder *et al.*, 2002; Pacini *et al.*, 2003; Swift *et al.*, 2004; Takatsuka *et al.*, 2005; Sandhu *et al.*, 2005; Pimentel *et al.*, 2005). Esta degradación resulta en pérdida de biodiversidad, movilización de nutrientes, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos disponibles (Alcamo *et al.*, 2005). Estos efectos resultan en una externalidad que impacta más en la sociedad que en las granjas donde se llevan a cabo (Bayanes *et al.*, 2007).

Se estima que para el 2050 la población global será de 9 mil millones, y promover la salud de los campos de cultivo a largo plazo será de crucial importancia para la seguridad alimentaria global (Foley *et al.*, 2011). Se necesita de mayor coherencia global para desarrollar estrategias agrícolas que mantengan y promuevan los servicios ecosistémicos y mantener el bienestar del ambiente.

2.3.4 La percepción humana sobre el impacto ambiental del manejo y los servicios ecosistémicos

Antes del siglo XX, los agricultores eran capaces de generar la producción necesaria sin depender altamente de los agroquímicos. Tenían una comprensión sino científica, intuitiva sobre las funciones ecosistémicas (Pretty, 2002) debido a su contexto, su cultura, y la cercana relación que tenían con sus tierras. Este lazo estrecho les permitía apreciar los procesos naturales y reaccionar en su tierra (McCann, 1997).

Hoy en día existen otras aproximaciones a la naturaleza (de índole científica), que si bien no son más valiosas que el conocimiento tradicional, representan una herramienta para conocer, entender, evaluar y valorar el ambiente. No obstante, la información generada sobre la importancia de los servicios agroecosistémicos es escasa y poco difundida, y la comprensión de los impactos generados por el manejo intensivo no se comprende del todo (Sandhu *et al.*, 2007), situación que se refleja en la toma de decisiones de los agricultores. A pesar de que se avanza en cuestiones de tecnología, en ocasiones ésta se aplica irresponsablemente.

Las consecuencias en la sostenibilidad y agrobiodiversidad que alteran los servicios a través del manejo no dependen únicamente de las condiciones biofísicas, sino también de la percepción de la gente que hace el manejo (Gregory, 2000; Maass *et al.* 2005, Balvanera *et al.* 2011, Martín-López *et al.* 2012). A pesar de que es claro, son pocos los estudios que han demostrado el papel que tienen los factores culturales en dar forma a los rasgos biológicos del paisaje (Cohen, 2003; Friedberg, 1997). Como establecen Buijs *et al.* (2005), para la práctica de la gestión ambiental es indispensable conocer la percepción social del paisaje, es decir, las formas en las que la gente piensa acerca de la naturaleza y conocer si los actores responsables de cierto manejo perciben las fallas e impactos positivos y negativos que sus prácticas generan.

La forma en que una comunidad o individuo percibe cómo es su relación con el entorno y cuáles son los impactos que sus decisiones tienen en él es un área de estudio fundamental para alcanzar objetivos de conservación y salud ambiental. Esta percepción se construye a través de la educación e información de los ciudadanos y se fortalece al estrechar la relación que tiene un ser humano con su entorno, permitiendo valorar los beneficios ambientales, culturales, estéticos y

espirituales que la naturaleza nos brinda. El conocer todo esto y aprehenderlo genera como producto natural la conservación ambiental.

2.3.5 Agricultura: patrimonio biocultural

En el Convenio de la Diversidad Biológica se establece que bajo “conocimiento tradicional” se entiende las prácticas de las comunidades indígenas y locales de todo el mundo. Concebido a partir de la experiencia adquirida a través de los siglos, y adaptado a la cultura y entorno locales. El conocimiento tradicional se transmite por vía oral de generación en generación”.

Toledo *et al.* (1993, 2001) definen al patrimonio biocultural como los recursos naturales bióticos intervenidos, el uso de recursos naturales según patrones culturales, los agroecosistemas y la diversidad biológica adaptada localmente. Boege (2010) inserta dentro de este conjunto a los conocimientos y plantas medicinales, los rituales y las formas simbólicas de apropiación de los territorios.

La estrategia productiva de la milpa surge a partir de la diversidad de paisajes de México, los cuales cambian en pocos kilómetros debido, principalmente, a la variada topografía y régimen climático. Con esta estrategia se busca producir una variada gama de cultivos y especies adaptadas a los micro-hábitats que permitan minimizar riesgos y asegurar biomasa y energía para la comunidad. Tras un largo proceso de selección cultural e intercambio de semillas entre campesinos, surge la gran variedad de especies y razas de las diversas plantas usadas dentro del sistema cultural (Boege, 2010), que constituyen la biodiversidad cultural.

La transmisión del conocimiento sobre el trabajo de la milpa se da por aprendizaje directo a través de la práctica, tradicionalmente involucrando a integrantes de toda la familia. Se siguen fuertemente los patrones estacionales y se siembran las semillas adaptadas previamente seleccionadas. Este reservorio de semillas corre por cuenta del agricultor, quien en caso de tener algún problema con él, puede acudir a la comunidad.

Como ya se ha mencionado, la agricultura campesina tradicional se encuentra fuertemente amenazada por las tendencias globalizadoras y homogeneizadoras de los cultivos y del manejo en general, trayendo como consecuencias la pérdida de diversidad de los policultivos,

la erosión genética, pérdida de saberes tradicionales y culturales, y la ruptura de las interacciones de larga duración entre las sociedades campesinas y la naturaleza, las cuales se encuentran en la base de la identidad sociocultural de los territorios originales (Boege, 2010).

La producción de maíz en México se hace de dos formas: por grandes agricultores y por pequeños productores, que representan una enorme mayoría y que su producto se queda en mercados regionales o es para autoconsumo. La mayoría de las tierras son de temporal y otras únicamente de riego. Los apoyos que ofrecen los programas oficiales no están diseñados para los pequeños agricultores y difícilmente obtienen algún tipo de ayuda. Estos programas fomentan el uso homogéneo de semillas de laboratorio, la estandarización de los cultivos y del manejo y el apoyo a productos transnacionales. Estas acciones hacen que el panorama para la conservación de este patrimonio se vuelva un campo inviable para los campesinos. La pérdida directa de la agrobiodiversidad indígena puede reducir dramáticamente la seguridad alimentaria nacional y global (Boege, 2010).

El maíz representa parte fundamental de la cultura mexicana. Por razones culturales, sociales y económicas, aún existe una gran riqueza genética del maíz en territorios indígenas y campesinos. Sin embargo, la población que mantiene esta riqueza y los saberes tradicionales está envejeciendo, mientras que los jóvenes optan por migrar, acelerando la pérdida. Lazos y Espinosa (2004) concluyen que la pérdida de la agrobiodiversidad y de los sistemas productivos locales se deben a los factores siguientes:

- *Ecológico*: Pérdida de fertilidad de suelo, inestabilidad climática, sequías prolongadas, etc.
- *Económico*: Control transnacional de los mercados, importación masiva de maíz amarillo, discriminación de variedades de maíz (por color, textura, forma), precios bajos.
- *Social*: Migración masiva que erosiona tejido social laboral, falta de jóvenes interesados, reducción de la circulación de las semillas y empobrecimiento del germoplasma.
- *Político*: La mayor parte de las políticas públicas favorecen los intereses de compañías transnacionales, acciones que promueven el abandono de los pequeños productores por parte del Estado.

III. Justificación

La agricultura moderna tiene un impacto sustancial en los componentes del sistema Tierra que pueden debilitar los procesos que sustentan el funcionamiento de los sistemas agrícolas, y por lo tanto, la reducción de la viabilidad a largo plazo de la agricultura en sí (Foley *et al.*, 2005; Steinfeld, *et al.*, 2007; Zhang, *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2008; Lotze-Campen *et al.*, 2010; Garnett, *et al.*, 2013). La disminución de la productividad de la tierra puede aproximarse como una “crisis silenciosa” (Blaikie y Brookfield, 2015) que está erosionando las bases de la civilización (Brown, 1981) y que a pesar de que sus consecuencias se observan en el ámbito ambiental, sus causas son sociales.

A lo largo de la historia de la humanidad se ha observado cómo el mal manejo del suelo genera pobreza (Bezdicsek *et al.*, 1996) y degradación ambiental. El cambio climático, la conexión cada vez más fuerte entre el sistema social y el sistema de comercio, el declive de los polinizadores, y el aumento de las plagas y enfermedades crean inestabilidades que pueden alterar los servicios ecosistémicos que ofrece el paisaje agrícola, incluyendo la producción alimenticia (Gordon *et al.*, 2008). Conocer la magnitud de los factores que afectan a largo plazo la diversidad reduciría el gasto y tiempo requerido para conservar y/o restaurar los ambientes (Osawa *et al.*, 2016). Es por esto que el desarrollo agrícola se percibe como un componente fundamental del esfuerzo generado para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2013).

Encontrar el balance entre aumentar la producción y rendimiento de los cultivos y mantener los servicios ecosistémicos que hacen que la tierra sea productiva es un reto, y más aún si se considera el aumento en la población (Bennet y Balvanera 2007; Zhang *et al.*, 2007; Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010; Foley *et al.*, 2011). La evaluación de la calidad del suelo y la biodiversidad nos permite conocer el estado de salud que presenta un lugar determinado y los impactos que ciertas prácticas tienen sobre el ambiente, y a partir de este conocimiento promover acciones más eficientes que permitan la conservación de la biodiversidad y la productividad agrícola.

El paisaje de mosaicos que se observa en Tlazala, Estado de México, y sus alrededores representa una oportunidad para describir tendencias de degradación del suelo por estrategias

agrícolas en una zona periurbana (vulnerable a la urbanización), permitiendo la comparación con un suelo de referencia, en este caso suelo de bosque aledaño, que no ha sufrido transformaciones antropogénicas (Cram *et al.*, 2015).

El análisis cuantitativo de los servicios biofísicos y los estudios de percepción se habían realizado en la historia de forma separada. Actualmente se conoce que es necesario promover investigaciones que intersecten el análisis cuantitativo científico con el análisis social, ambos factores que conforman un socioambiente (González-Esquivel *et al.*, 2015).

3.1 Contexto en México

Los procesos de urbanización y globalización han configurado durante las últimas tres décadas un nuevo panorama para el sector agropecuario (Escalante *et al.*, 2005, 2007). La forma tecnificada que se promueve hoy para hacer agricultura también influye en el mercado interno, que genera dos sectores de campesinos; aquellos que se asocian al mercado exportador, que reciben apoyos gubernamentales y que realizan un manejo intensivo aplicando tecnologías, y aquellos que realizan agricultura tradicional de subsistencia de manera extensiva (Rodríguez *et al.*, 1998). En el caso de México, esta transformación ha aumentado los niveles de pobreza, de migración y una “desagrarización” del medio rural, donde las actividades no-agrícolas representan más del 50% de los ingresos de las familias rurales (Araujo, 2003; Taylor *et al.*, 2005; Escalante y Catalán, 2008), como es el caso del poblado de Tlazala.

En el territorio mexicano se observan gran cantidad de cambios, en general por arriba de la media mundial en cuanto a tasas de deforestación, incremento de las áreas de cultivo y pastoreo y expansión urbana entre otros (Mas *et al.*, 2004,2009; Sánchez-Colón *et al.*, 2008). Con relación al subsistema suelo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) coloca a México entre los primeros lugares de suelos degradados (con casi 50% de suelos severa y muy severamente degradados), mientras PNUMA-SEMARNAT-INECC (2004) establecen que más de la mitad de esta degradación es causada por actividades agrícolas. La Figura 2 expone los principales factores causantes de la degradación en México según la SEMARNAT-CP (2003). Gran parte de esta degradación se debe a falta de conocimiento sobre la importancia ecológica que tiene el suelo, los límites y aptitudes de su aprovechamiento y las técnicas adecuadas para el

buen manejo (PNUMA-SEMARNAT-INECC, 2004). Esta escasez de información se siembra desde el nivel institucional, con la falta de políticas de uso de suelo y el fomento de prácticas que aceleran su degradación, sin tomar en cuenta que su pérdida puede ser irreversible. El manejo agrícola irracional no afecta únicamente al suelo, sino que directa e indirectamente afecta el recurso hídrico, pone en juego la biodiversidad cultural y natural presente en los agroecosistemas tradicionales y la salud de los seres vivos.

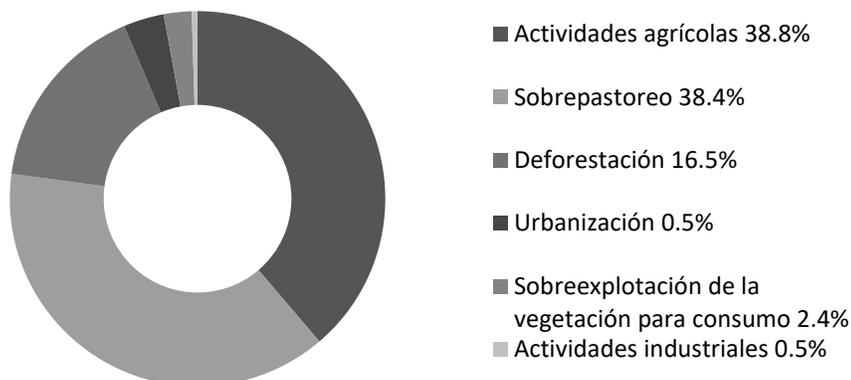


Figura 2. Principales factores causantes de la degradación del suelo en México (SEMARNAT-CP, 2003).

IV. Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del suelo y la diversidad vegetal en milpas bajo sistemas de manejo con intensidades diferentes y conocer la percepción de los agricultores sobre el medio ambiente, el manejo de recursos y los servicios ecosistémicos en Tlazala de Fabela, Estado de México.

4.2 Objetivos particulares

- Evaluar los efectos que generan tres sistemas de manejo agrícola en la calidad del suelo a partir de indicadores físicos, químicos y biológicos.

- Comparar la calidad del suelo agrícola con la del suelo forestal a partir de los indicadores utilizados.
- Analizar y comparar la fitoagrobiodiversidad en parcelas con tres sistemas de manejo agrícola.
- Identificar si existe correlación entre la diversidad vegetal y las características edáficas a través de un análisis de un análisis canónico de correspondencia.
- Conocer la percepción de los actores locales sobre el manejo agrícola y sus impactos, así como la percepción que tienen del ambiente, los servicios ecosistémicos y su aprovechamiento.
- Conocer la percepción que tienen los niños y jóvenes de Tlazala sobre la agricultura.

V. Método

5.1 Área de estudio

5.1.1 Descripción geográfica

El poblado de Tlazala es la cabecera municipal de Isidro Fabela, ubicado al noreste del Estado de México, en la parte norte del sistema montañoso Sierra de las Cruces (INEGI, 2006), dentro de la cuenca presa de Guadalupe (CPG). Se ubica a los 19°33'28" N y 99°25'00" W (SNIM, 2010). El municipio de Isidro Fabela tiene una superficie de 75.79 km² y colinda al norte con Nicolás Romero, al este con los municipios de Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza y Jilotzingo, al sur con los municipios de Jilotzingo, Oztolotepec y Temoaya, y al oeste con los municipios de Temoaya y Nicolás Romero (ver Figura 3; INEGI, 2009).

A pesar de la cercanía que tiene este municipio con la Ciudad de México y Toluca, el territorio aún conserva su esencia rural y bajo deterioro ambiental. La ubicación geográfica de sus localidades y su baja densidad poblacional han permitido la preservación de sus recursos naturales (Villegas-Martínez, 2015).

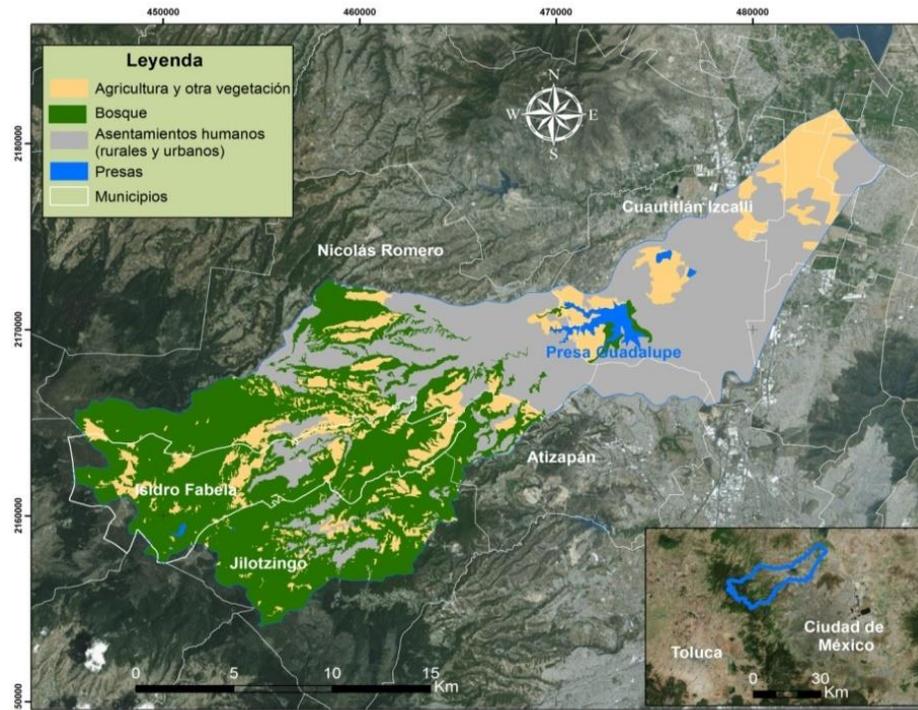


Figura 3. Ubicación geográfica y uso de suelo de la cuenca Presa de Guadalupe (Ávila-Akerberg, 2016)

5.1.2 Descripción ambiental

5.1.2.1. Fisiografía

La topografía del municipio es quebrada, y presenta valles, barrancas y altas puntas (3870 msnm) en los límites municipales con Temoaya y Jiquipilco. Pertenece en su totalidad al Cinturón Volcánico Transversal y su sistema de toposformas corresponde a sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados (71.63%) al este, y lomerío de tobas (28.73%) hacia el oeste (INEGI, 2009). Tlazala se ubica en la zona media de la cuenca presa de Guadalupe, a 2780 msnm (Ayuntamiento Constitucional de Isidro Fabela, 2000), sobre la sierra volcánica.

5.1.2.2 Hidrografía

La subcuenca presa de Guadalupe (CPG) tiene una superficie aproximada de 38,000 ha (Ávila-Akerberg y González-Martínez, 2016), y pertenece a la cuenca río Pánuco y a la subcuenca río Cuautitlán. La CPG cuenta con tres zonas según su altitud. El 33% de la su superficie presenta suelo forestal (Ávila-Akerberg, com. pers.), el cual se encuentra principalmente en la zona alta, que

presenta bosque de pino-oyamel y fuerte actividad hidrológica, situación que la hace un área importante de recarga del acuífero Cuautitlán, y que permite que en Tlazala se utilice agua corriente de calidad proveniente de los manantiales, utilizada para actividades agrícolas (García-Zepeda *et al.*, 2016) y para uso doméstico (Ayuntamiento Constitucional de Isidro Fabela, 2000). En la zona baja, el cambio de uso de suelo tiende al urbano, y se encuentra en expansión debido a la presión demográfica del Estado de México. En esta zona la calidad del agua ya no es buena y la actividad agrícola es menor.

5.1.2.3 Clima

Las condiciones climáticas son de tipo semifrío y templado subhúmedo con lluvias en verano con humedades entre 63.5 y 36.5% en las zonas más templadas. La temperatura oscila entre 14 y 6°C (INEGI, 2009). La temperatura media anual aproximada es entre 13°C y 17°C y la precipitación media anual de 800-1300 mm (INEGI, 2009).

5.1.2.4 Geología

El territorio de Isidro Fabela se encuentra asentado sobre rocas volcánicas provenientes del Neógeno. Entre estas rocas predominan las volcánicas ígneas andesíticas (74.36%), volcanoclásticas (19.18%), y las brechas sedimentarias al norte (4.56%) (INEGI, 2009).

5.1.2.5 Edafología

Andosol

El suelo dominante en Isidro Fabela es el Andosol (70.56%; INEGI, 2009). Estos suelos son producto de eyecciones volcánicas, por lo que se encuentran compuestos por materiales ricos en silicatos, vidrio, ceniza, tufa, y pómez entre otros. Son de color oscuro y se encuentran principalmente en paisajes montañosos y húmedos con un amplio rango de tipo de vegetación (WRB, 2007).

En este tipo de suelo la acumulación de materia orgánica es relativamente rápida debido a su protección de complejos aluminio-humus. En los primeros centímetros presentan propiedades ándicas, lo cual hace que tengan alto contenido de vidrio volcánico y/o alto contenido de amorfos o minerales de aluminio o Fe pobremente cristalizados (Brady & Weil, 2008). La combinación de estos minerales y la materia orgánica resulta en un suelo ligero, fácil de arar y con alta capacidad

de retención de agua y buenas propiedades de enraizamiento, sin embargo, cuando se encuentran muy hidratados son difíciles de arar por su baja capacidad de carga y adhesividad (WRB, 2007). Presentan naturalmente alta fertilidad, a excepción de que la disponibilidad de fósforo es severamente limitada por la alta capacidad de retención de fósforo de los materiales ándicos (Brady & Weil, 2008), lo cual puede representar un problema agrícola que se contrarresta con la aplicación de sílice, material calcáreo u orgánico, y fertilización fosfatada (WRB, 2007).

Presentan un alto potencial para el uso agrícola, pero pueden ser vulnerables a la erosión, ya sea porque son muy someros, impermeables o poco consolidados. Esta fragilidad aumenta debido a su común ubicación en laderas con pendientes acentuadas (PNUMA-SEMARNAT-INECC, 2004).

Luvisol

A pesar de que la mayor parte del municipio se encuentra sobre Andosoles, el Luvisol representa 27.49% del suelo de Isidro Fabela, y es el suelo correspondiente al poblado de Tlazala (ver Figura 4). Este suelo se encuentra en las partes medias y bajas del territorio, donde la pendiente es menor.

Los Luvisoles tienden a acumular arcillas en el subsuelo (por migración), lo cual conduce a la formación de un horizonte subsuperficial árgico que presenta arcillas de alta actividad y alta saturación con bases a ciertas profundidades. El material parental de estos suelos es una variedad de materiales no consolidados que incluye depósitos eólicos, aluviales y coluviales. Presentan tonos rojizos y drenaje interno eficiente.

La mayoría de los Luvisoles son suelos fértiles y apropiados para un rango amplio de usos agrícolas, pero cuando se encuentran en pendientes pronunciadas requieren medidas de control de erosión (WRB, 2007). El Ayuntamiento de Isidro Fabela (2014) indica que si se emplean en labores agrícolas requieren de fertilización.

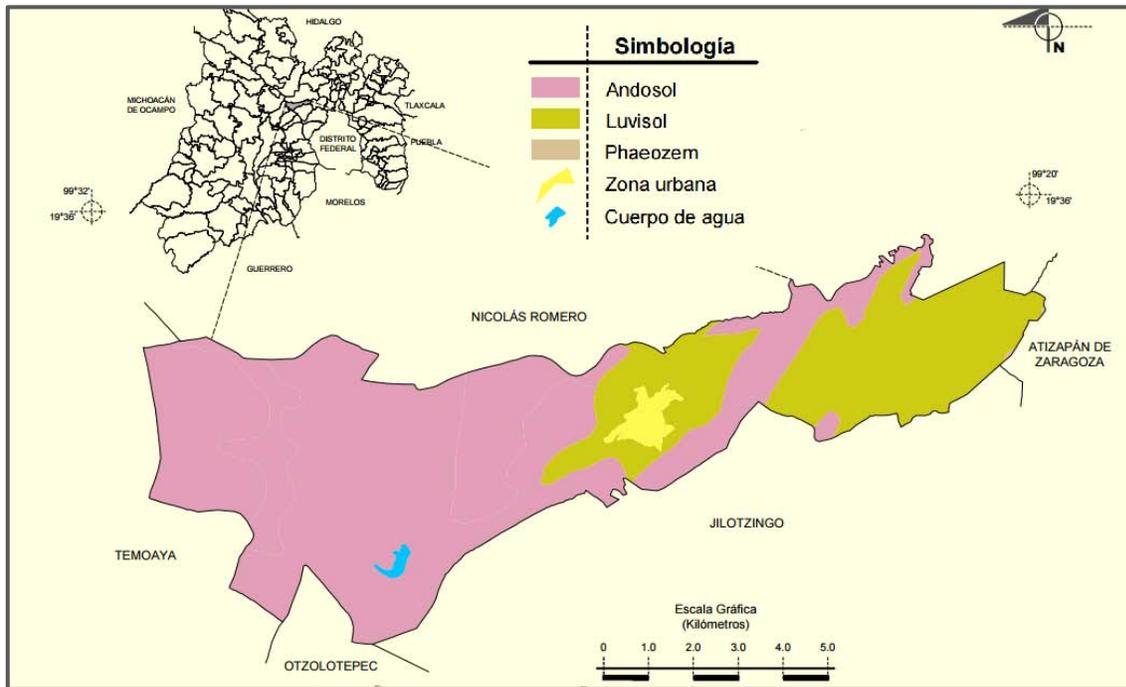


Figura 4. Suelos dominantes en el municipio de Isidro Fabela, Estado de México. (INEGI, 2009).

5.1.2.6 Uso de suelo

El uso de suelo del territorio de Isidro Fabela es forestal (75.81%), rural (6.91%), agrícola de temporal (6.6%), pastizal (6.51%), matorral (3.37) y otros (0.08%) (Ávila-Akerberg, com. pers., 2016). La vocación de estos suelos es forestal (Andosol), y es por esto que durante los últimos años se ha intentado promover el turismo ecológico como alternativa económica y como estrategia de conservación.

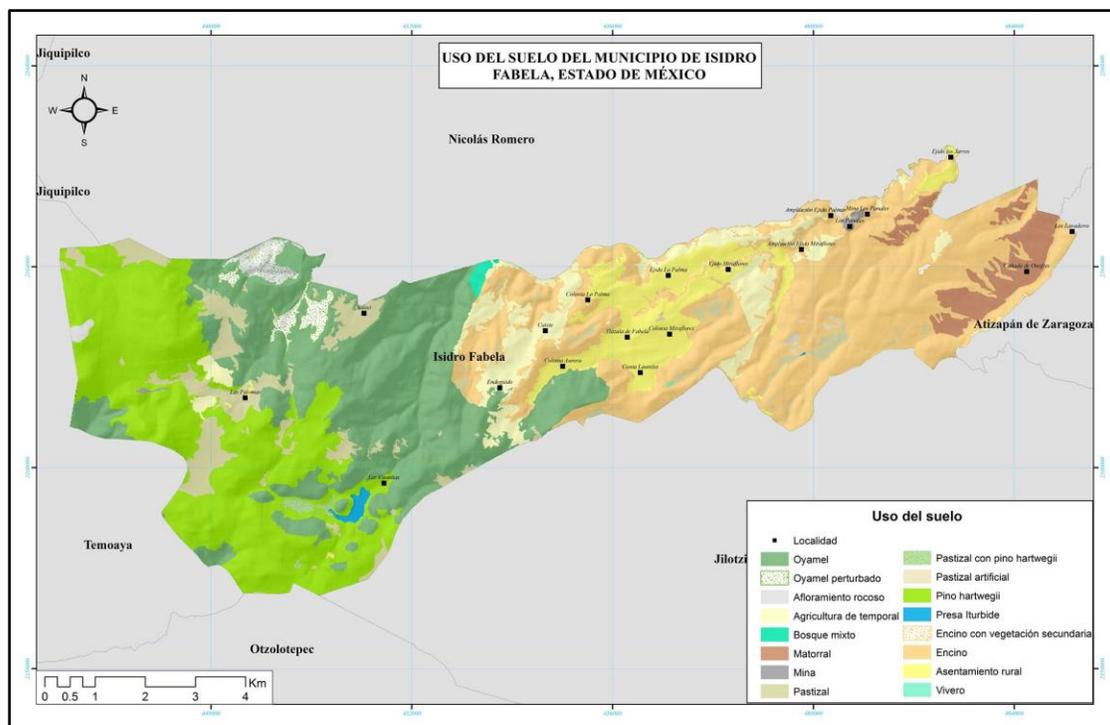


Figura 5. Ávila-Akerberg (comunicación personal, 2016)

5.1.2.7 Flora

En Isidro Fabela se pueden encontrar los árboles: oyamel, pino, ocote, madroño encino, cedro, álamo, pino, sauce, chichicaule y fresno, manzano, capulín, durazno, ciruelo, tejocote, pera, higuera, aguacate y chabacano. Entre las hierbas comunes y principales están: ajeno, simonillo, istafiate, hierbabuena, manzanilla, gordolobo, hinojo, ruda, romero, toronjil, tabaquillo, peshtó, chilacayote, chayote, calabaza, orégano, perejil, apio, cilantro, tomillo, borraja y epazote. Abundan las flores de ornato y entre ellas se distinguen: bugambilia, heliotropo, dalia, rosa, floripondio, crisantemo, nomeolvides, pajarito, malva y madreSelva (nombres científicos en Anexos; Ayuntamiento de Isidro Fabela, 2014).

5.1.2.8 Fauna

Entre la fauna del lugar encontramos animales no domésticos como: tlacuache, zorrillo, conejo de campo, ardilla, cacomixtle, venado, liebre, coyote, comadreja, armadillo, tejón, tuza, paloma, tórtola, codorniz, huitlacoche, jilguero, gorrión, primavera, azulero, tecolote, lechuza, pájaro

carpintero, gavilán, águila, zopilote, cuervo, canario, gato montés, víbora de cascabel, cenizote, lagartija, camaleón real, etc. (Ayuntamiento de Isidro Fabela, 2014).

5.1.3 Descripción socioeconómica

El municipio de Isidro Fabela está compuesto por 19 localidades definidas por el INAFED como rurales, ya que su número de habitantes es menor a 2,500¹. Para el 2010, la población total de Isidro Fabela era de 10,308 personas y la de Tlazala de 2,002 habitantes, de los cuales 966 eran hombres y 1036 mujeres (INEGI, 2010). Un porcentaje menor a 1% de la población de Isidro Fabela habla alguna lengua indígena (principalmente náhuatl y otomí; INEGI, 2010). El grado de marginación de Isidro Fabela es medio (20.95 en una escala del 0 al 100, según la CONAPO); 8.26% no cuenta con drenaje ni sanitario exclusivo, menos del 2% no cuenta con energía eléctrica ni agua entubada, 44.18% presenta algún nivel de hacinamiento y la población analfabeta de 15 años o más es de 6.79% (SNIM, 2010).

El desarrollo económico del municipio está basado en la PEA (Población Económicamente Activa) de 3818 habitantes, que corresponde a 32.84% de la población. De esta PEA 3,593 se ocupan en alguna actividad económica, mientras que 225 habitantes se encuentran desocupados dentro de la población (Villegas-Martínez, 2015). La PEA se encuentra distribuida como se muestra en la Tabla 9.

¹ El INAFED construyó una clasificación de municipios según el tamaño de sus localidades, basándose en estudios del PNUD (2005) e INEGI.

Tabla 9. Actividades económicas por sector para Isidro Fabela, Estado de México (Unidad de Microrregiones, SEDESOL 2013)

Sector	Actividad	Pob. Total
Primario	Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza	528
Secundario	Minería	11
	Electricidad, agua y suministro de gas por ductos al consumidor final	4
	Construcción	336
	Industrias manufactureras	367
Terciario	Comercio al por mayor	73
	Comercio al por menor	611
	Transportes, correos y almacenamientos	200
	Información en medios masivos	15
	Servicios financieros y de seguros	8
	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	20
	Servicios profesionales, científicos y técnicos	52
	Servicios de apoyo a los negocios, manejo de desechos y servicios de remediación	91
	Servicios educativos	175
	Servicios de salud y de asistencia	53
	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	15
	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	131
	Otros servicios excepto actividades de gobierno	418
	Actividades de gobierno, de organismos internacionales y territoriales	250
No especificado	No especificado	14

La actividad predominante es la terciaria (62.63%), siendo el comercio al por menor (18.11%), la actividad con mayor PEA. A este sector le sigue el sector secundario (21.29%) con las actividades de industria manufacturera y construcción. Un porcentaje de 15.65 de la PEA se dedica a la actividad primaria agrícola (SEDESOL, 2013).

A pesar de que las actividades agrícolas no tienen gran demanda de mano de obra dentro del municipio, son estas las que tienen mayor retribución en la economía del territorio (Villegas Martínez, 2015). A continuación, se presenta una Tabla (10) con los productos agrícolas más importantes de Isidro Fabela:

Tabla 10. Anuario agrícola (SAGARPA, 2010).

Cultivo/ Variedad	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción valor unidad (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	Precio medio rural (\$/Ton)	Valor de producción (Miles \$)
Avena forrajera verde	498	498	5,956	11.96	280	1,667
Maíz grano blanco	665	600	2,767	6.9	3,500	9,686
Maíz grano de color	40	40	180	4.5	3,500	630
Papa /alpha blanca	10	15	180	12	2,300	414

A pesar de que Isidro Fabela es un territorio rural, las actividades laborales que rigen el sistema económico se encuentran ubicadas en el sector terciario (prestación de servicios), provocando con ello un fuerte desarraigo social sobre las actividades primarias (agrícolas).

5.1.3.2 Descripción cultural

Entre las tradiciones que se mantienen en esta localidad se encuentra la celebración de Semana Santa, la fiesta patronal, las Luminarias, la celebración a la Virgen de Guadalupe y las fiestas decembrinas. La celebración de las Luminarias, que se lleva a cabo el 8 de septiembre, es la fecha en la que se realizan las primeras cosechas de las milpas. Se tiene la creencia de que ese día pasa por ahí la virgen de Loreto bendiciendo los cultivos. Durante la celebración, a las orillas de las milpas se hacen fogatas, se prepara atole y se asan o cuecen los elotes cosechados. La gente se reúne durante muchas horas para celebrar y agradecer en estas fogatas mientras se alimentan de los productos cosechados (Ayuntamiento de Isidro Fabela, 2014). Esta es una de las tradiciones favoritas de los niños y pobladores.

Preservar este tipo de tradiciones es importante ya que se trata de la cultura local y de la relación que existe entre los pobladores, la tierra y sus creencias religiosas, lo cual estrecha la relación humano-ambiente, promueve la valoración de la Tierra y genera identidad y pertenencia.

5.2 Trabajo de campo

5.2.1 Selección de milpas

Los criterios para la elección fueron los siguientes: (1) que el cultivo principal de la parcela fuese alguna variedad de maíz, (2) que las parcelas se encontraran, en la medida de lo posible, en una unidad ambiental similar, abarcando la mayor parte del poblado de Tlazala. Se procuró abarcar los tres tipos de manejo principales que se realizan en la zona.

5.2.1.1 Delimitación de sistemas de manejo

A partir del trabajo de campo realizado para delimitar las parcelas, se identificaron tres tipos de sistemas de manejo agrícola utilizados en Tlazala; intensivo, medio y tradicional. El manejo intensivo se distingue por el uso de plaguicidas (carbofurano y organofosforados) y fertilizantes artificiales (sulfato de amonio y súper fosfato de calcio simple) y naturales (estiércol animal); en el sistema medio se utilizan fertilizantes artificiales y naturales (urea, abono 18-46 y gallinaza) y en el sistema tradicional únicamente estiércol animal. En el tratamiento intensivo se aplican herbicidas sistemáticamente (atrazina, dicamba y glifosato) y en el tratamiento medio se utilizan ocasionalmente. Es importante mencionar que las milpas donde se hace trabajo tradicional, son en general para consumo personal de comida y forraje y ocasionalmente participan en el mercado local, a diferencia de los manejos medio e intensivo, que surten tanto el mercado local como el de otras regiones cercanas. Además, se tomaron muestras de suelo del bosque forestal aldeaño al poblado de con la finalidad de tener valores de referencia de suelo no agrícola de la zona (González-Esquivel et al. 2015). Estas muestras se utilizaron únicamente como referencia, ya que la topografía y vegetación es distinta, por lo que no pueden ser comparadas directamente con las muestras de suelo agrícola. Se tienen cuatro réplicas por cada tratamiento.

5.2.2 Métodos de muestreo

5.2.2.1 Vegetación

El muestreo fue realizado durante agosto de 2015 a partir del método propuesto por Caamal y Bernardino (2011) para arvenses en agroecosistemas.

Se colocó un transecto diagonal en cada parcela buscando abarcar todo el diferencial en la pendiente de la misma. A partir de dos metros del borde de la parcela se trazaron tres cuadrantes de 2x2 metros a lo largo del transecto. Posteriormente se recolectaron los ejemplares vegetales encontrados en cada cuadro, se prensaron y se estimó la cobertura relativa (%) de cada ejemplar con relación al cuadrante (Kent y Coker 1992), así como el porcentaje de suelo desnudo. Los ejemplares fueron prensados y trasladados al Herbario de la Facultad de Ciencias, donde fueron identificados con la ayuda del Biól. Ramiro Cruz Durán.

5.2.2.2 Suelo

El muestreo completo se realizó durante el mes de agosto de 2015, paralelamente al muestreo de arvenses y utilizando los cuadrantes trazados para dicho muestreo. Se tomaron tres muestras compuestas de suelo (una por cuadrante), sobre el surco, de los primeros 20 centímetros de profundidad utilizando un barrenador. Este sistema se repitió para cada parcela y para los cuadrantes trazados en el bosque.

El muestreo del suelo forestal se realizó en áreas representativas del bosque de *Quercus* spp., cercanas a las parcelas muestreadas. Dichas áreas fueron determinadas por el Dr. Ávila Akerberg, al igual que la localización de cada cuadrante de 2x2 metros. Para este muestreo se removió el mantillo.

La presencia o ausencia de lombrices se determinó a partir de la toma de muestras de densidad aparente y las muestras generales de suelo. Tras la colecta las muestras fueron colocadas en una hielera y trasladadas a la Unidad de Análisis Ambiental de la Facultad de Ciencias, en donde se refrigeraron para su posterior análisis.

5.2.3 Levantamiento de entrevistas y cuestionarios

Entrevistas a campesinos

Se levantaron entrevistas semi-estructuradas a los agricultores de las parcelas muestreadas. Además, se entrevistó aleatoriamente a campesinos con milpas, mientras llevaban a cabo sus actividades cotidianas, para obtener un total de 15 entrevistados. La premisa que se utilizó fue que hubieran tenido una milpa y trabajado en ella.

Estas entrevistas fueron realizadas con el motivo de conocer de manera más profunda la forma de manejo, la historia del terreno, sus motivaciones para mantener la milpa, su percepción sobre el manejo que dan a la tierra, sobre los beneficios que el trabajo de la misma les da y el medio ambiente en general.

Cuestionarios a niños

Durante la temporada de verano de 2015, y como parte de las charlas de alimentación, salud y ambiente impartidas por el Dr. Víctor Ávila Akerberg, el M. en A. Luis Ángel López Mathamba y la M. en C. Tanya González Martínez en todos los centros educativos de Isidro Fabela (5 primarias, 3 secundarias y 1 preparatoria), se aplicaron 1126 cuestionarios, a partir de los cuales se busca conocer más sobre sus percepciones y las problemáticas locales. Estos cuestionarios son aplicados antes de impartir las charlas.

5.3 Trabajo de laboratorio

5.3.1 Indicadores de calidad del suelo

Los indicadores utilizados en el siguiente estudio se muestran en la Tabla 11. Fueron elegidos tomando en cuenta los objetivos, el equipo disponible y el tiempo experimental, a partir de los propuestos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Doran y Parkin (1994), Larson y Pierce (1994), Karlen *et al.* (1997), Nortcliff (2002), Etchevers *et al.* (2009), Navarrete *et al.* (2011), Cram *et al.* (2015) y González-Esquivel *et al.* (2015).

El trabajo de laboratorio fue realizado en la Unidad de Análisis Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, siguiendo los procedimientos propuestos por Ponce de León *et al.*, (2012).

Tabla 11. Indicadores de calidad que se consideran en este estudio (Elaboración propia a partir de Doran y Parkin 1994; Doran y Parkin 1996; Karlen et al. 1997; Nortcliff 2002).

Indicadores	Indicador	Relación con la condición del suelo y su función
Físicos	Textura	Retención y transporte de agua y minerales
	Densidad aparente y porosidad	Potencial de lixiviación y transporte de agua, compactación, productividad y erosividad
	Porcentaje de humedad	Disponibilidad de agua para los organismos, transporte de nutrientes y minerales,
Químicos	Materia orgánica	Determina la fertilidad el suelo, disponibilidad de nutrientes, estabilidad de agregados, estabilidad y la medida de erosión
	pH	Determina los umbrales de actividad biológica y química, y límites para el crecimiento vegetal
	Conductividad eléctrica	Determina los umbrales de actividad vegetal y microbiológica, limita crecimiento vegetal.
	Bases intercambiables	Almacén de nutrientes para las plantas, retención de contaminantes y amortiguación del pH.
Biológicos	Diversidad y riqueza vegetal	Rendimiento, servicios de regulación, control biológico de plagas, fertilidad del suelo, atracción de polinizadores
	Índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson	Uniformidad de la abundancia relativa de cierta especie y el grado de dominancia entre especies
	Diversidad funcional de herbáceas	A través de la riqueza total y el índice de monocotiledóneas/dicotiledóneas se habla del potencial que tienen ciertas especies para atraer polinizadores
	Índice de especies nativas/exóticas	Conservación de la diversidad y mantenimiento de los servicios ecosistémicos
	Índice de semejanza florística de Sørensen	Permite comparar comunidades con atributos similares

5.3.2 pH y conductividad eléctrica

Se pesaron 10 gramos de suelo en frascos de polipropileno de 50 ml previamente esterilizados y se incluyeron dos muestras patrón y dos blancos de agua des ionizada. Se agregaron 25 mililitros de agua des ionizada y se agitaron por 18 horas. Se dejaron reposar una hora y luego fueron centrifugadas a 2000 RPM por 5 minutos en una centrífuga Hermile z513. Se realizaron réplicas para cada muestra. El pH fue leído en el sobrenadante con un potenciómetro (Hannah ± 0.01) previamente calibrado, y la conductividad eléctrica con un conductímetro (La Motte CDS 5000).

5.3.3 Bases intercambiables

Se determinaron las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ intercambiables en suelo extraídos con una solución de acetato de amonio 1 N pH 7. La cuantificación de Ca^{2+} y Mg^{2+} se realizó por espectrofotometría de absorción atómica y la de Na^+ y K^+ por flamometría.

El método utilizado usa un catión índice NH_4^+ de una disolución amortiguadora de acetato de amonio. Dado que los suelos son de origen volcánico (ácidos) se utilizó la disolución tampón a pH 7. Se pesaron 5 gr de suelo y fueron colocados en tubos de polipropileno de 50 ml., se agregaron 16 ml de acetato de amonio 1 N a pH 7 y se agitaron durante 10 minutos. Posteriormente fueron centrifugados a 2500 rpm durante 5 minutos y el sobrenadante se filtró en un tubo de polipropileno de 50 ml. Este procedimiento se repitió dos veces más, con la diferencia de que el último lavado se agregaron 18 ml. de acetato para completar 50 ml. A partir de esta extracción se realizaron diluciones 1:10, 1:40 y 1:120 utilizando una disolución de lantano al 0.5% y cesio al 0.1%.

5.3.3.1 Determinación de Na^+ y K^+

Se realizaron curvas de calibración para cada base a partir de soluciones estándar certificadas (1000 mg/L) y utilizando la solución de lantano y cesio. Las concentraciones utilizadas para cada curva fueron de 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3 y 4 mg/L. Posteriormente se realizaron las lecturas de las muestras en un flamómetro.

Las lecturas de absorbancia fueron convertidas a mg/L utilizando la fórmula siguiente

$$\frac{mg}{L} \text{ de } Na^+ \text{ o } K^+ = \frac{\text{Absorbancia} - \text{eje de intersección } (b)}{\text{pendiente } (m)}$$

Posteriormente los mg/L fueron convertidos a peso seco (mg/Kg),

$$\frac{mg}{Kg} \text{ de } Na^+ \text{ o } K^+ = \frac{\text{lectura } \left(\frac{mg}{L}\right) * \text{aforo } (ml) * \text{dilución } (ml)}{\text{peso del suelo } (g)}$$

Finalmente, se representaron los valores como cmol/Kg al dividirlos entre el peso atómico de cada elemento;

$$Na^+ \text{ cmol/L} = \frac{Na^+ \left(\frac{mg}{Kg}\right)}{230}$$

$$K^+ \text{ cmol/L} = \frac{K^+ \left(\frac{mg}{Kg}\right)}{391}$$

5.3.3.2 Determinación de Ca^{2+} y Mg^{2+}

Se realizaron curvas de calibración para cada base a partir de soluciones estándar certificadas y utilizando nuevamente la solución de lantano y cesio. Las concentraciones utilizadas para la curva de calcio fueron de 0, 0.5, 1, 2, 3, 4 y 5 mg/L. Para la curva de magnesio se utilizaron concentraciones de 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5. Además se preparó una solución de agua desionizada con cobre a 4 mg/L para calibrar el equipo (abs=0.2). Posteriormente se realizaron las lecturas de las muestras en un espectrofotómetro de absorción atómica, que fueron convertidas de mg/L a peso seco utilizando la siguiente ecuación;

$$\frac{mg}{Kg} \text{ de } Ca^{2+} \text{ y } Mg^{2+} = \frac{\text{lectura } \left(\frac{mg}{L}\right) * \text{aforo } (ml) * \text{dilución } (ml)}{\text{peso del suelo } (g)}$$

y después a cmol/Kg;

$$Ca^{2+} \frac{\text{cmol}}{\text{Kg}} = \frac{Ca^{2+} \text{ mg/Kg}}{200.4}$$

$$Mg^{2+} \frac{\text{cmol}}{\text{Kg}} = \frac{Mg^{2+} \text{ mg/Kg}}{121.5}$$

5.3.4 Materia orgánica y textura

Se lavaron, esterilizaron y pesaron los crisoles necesarios. Se les agregaron 2 gramos de suelo húmedo previamente tamizado (2 mm) y fueron pesados. Posteriormente se introdujeron en una mufla a 480° C por 24 horas. Finalmente, los crisoles con el suelo seco fueron pesados. La textura se determinó cualitativamente siguiendo el procedimiento propuesto por Siebe *et al.*, 2006.

5.3.5. Densidad aparente y porcentaje de humedad

Inicialmente se pesaron, numeraron y esterilizaron las cajas Petri necesarias en una báscula *Sartorius* CP224 S (ISO 9001). Las muestras tomadas con el cilindro fueron colocadas en las cajas Petri, se tomó nuevamente el peso y fueron colocadas en el horno a 105° C por 24 horas para eliminar toda la humedad presente en el suelo. Posteriormente se colocaron las cajas Petri con suelo seco en desecadores hasta alcanzar la temperatura ambiente. Las cajas fueron pesadas nuevamente. A partir de este procedimiento se obtuvieron los datos de densidad aparente y porcentaje de humedad, utilizando las fórmulas descritas a continuación;

$$\text{Humedad (\%)} = \left(\frac{\text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del suelo seco}}{\text{peso del suelo húmedo}} \right) * 100$$

$$\text{Densidad aparente} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{peso del suelo seco}}{\text{volumen del cilindro}}$$

5.3.6 Densidad real, pedregosidad y porosidad

A través de este procedimiento se busca determinar la densidad de las partículas del suelo o densidad real. Las muestras utilizadas para este parámetro fueron las que se usaron previamente para el análisis de la densidad aparente. Fueron trituradas en un mortero y posteriormente tamizadas con un tamiz de 2 mm. Las rocas que no pudieron ser tamizadas fueron pesadas para obtener los datos de pedregosidad.

Se obtuvieron los valores gravimétricos de los picnómetros vacíos y secos previamente esterilizados. Se agregó suelo a cada picnómetro de tal forma que este ocupara 1/3 del volumen del picnómetro y se pesaron. Se agregó una tercera parte de agua destilada y hervida fría, y se promovió que las burbujas de aire atrapado en la matriz de suelo se liberaran a través de suaves golpes en el picnómetro. Cuando las burbujas persistieron por más de 10 minutos se agregaron dos gotas de metano. Se agregó agua destilada y hervida hasta la marca en el cuello del picnómetro y se taparon y pesaron. Los picnómetros se lavaron, esterilizaron y pesaron nuevamente para ser llenados ahora únicamente con agua destilada hervida. Los valores de densidad real y porosidad se obtuvieron a través de las fórmulas siguientes;

$$Densidad\ Real\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{\rho_a * (P_s - P_v)}{((P_s - P_v) - (P_{sa} - P_a))}$$

Donde,

ρ_a : Densidad del agua (1 g/cm³)

P_s : Peso del picnómetro con el suelo

P_v : Peso del picnómetro

P_{sa} : Peso del picnómetro con suelo y agua destilada

P_a : Peso del picnómetro con agua destilada

$$Porosidad\ (\%) = \left(\frac{1 - Densidad\ aparente}{Densidad\ real}\right) * 100$$

5.4 Trabajo de gabinete – Procesamiento de datos

Como indicadores de fitoagrobiodiversidad se utilizaron; riqueza de arvenses, los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson según Magurran (2004), el índice de semejanza florística de Sørensen, la diversidad funcional de las herbáceas a través del índice de monocotiledóneas/dicotiledóneas (González-Esquivel *et al.*, 2015), y el índice de especies exóticas/nativas (Ávila-Akerberg, 2010).

Índice de Shannon-Wiener

El índice de Shannon-Wiener combina la riqueza de especies y la equidad en lo que se conoce como diversidad o heterogeneidad (Magurran 2004; Moreno *et al.*, 2006). Este índice se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Donde,

H' = Índice de Shannon-Wiener

S = Número de especies

ln = logaritmo natural

p_i = abundancia proporcional a la especie i

Índice de Simpson

El Índice de Simpson toma en cuenta las especies con mayor importancia, es decir que es inverso al concepto de equidad. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$D = \sum (p_i)^2$$

Donde,

D = Índice de Simpson

p_i = abundancia proporcional de la especie i

Índice de Sørensen

Este índice se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$I_s = \frac{2c}{A + B}$$

Donde,

I_s = Índice de Sørensen

A = número de especies encontradas en la comunidad A

B = número de especies encontradas en la comunidad B

C = número de especies comunes a ambas localidades

5.4.1 Análisis estadístico

Se utilizó el programa STATISTICA 13.2 para realizar el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis y la prueba de medianas ($p < 0.05$), seguido de un análisis de comparaciones múltiples con valores de z' y de p (dos colas) con ajuste de Bonferroni, para conocer qué grupos son diferentes entre sí. La prueba de Kruskal-Wallis se usa para comparar tres o más muestras, y a diferencia del ANOVA, se basa en rangos en vez de medias.

5.4.1.1 Análisis canónico de correspondencia

Se realizó un análisis canónico de correspondencia (CCA) usando el programa CANOCO para conocer la relación entre la información fitosociológica obtenida en campo con las propiedades del suelo antes mencionadas.

Los datos se representaron en dos matrices; una con los valores obtenidos de cada propiedad del suelo para cada cuadro muestreado, y otra con la abundancia relativa de cada especie en cada cuadro.

VI. Resultados y discusión

6.1 Salud del suelo

Los resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo obtenidos para los cuatro tipos de vegetación y manejo (tradicional, medio, intensivo y bosque) se presentan en la Tabla 12. La prueba cualitativa de textura mostró que los suelos del bosque son arcillo-limosos (RL), mientras que 83% de los suelos de las milpas fueron de arcillo-limosos y 17% franco-arcillosos (CR; presentan más arena que los demás). Como se observa en el triángulo de texturas (Figura 1), los suelos arcillo-limosos y franco-arcillosos presentan porcentajes similares de arcillas, limo y arena, lo cual hace posible su comparación.

Tabla 12. Propiedades físicas y químicas del suelo forestal y bajo tres manejos agrícolas en Tlazala de Fabela, Estado de México.

	Tradicional	Medio	Intensivo	Bosque
Densidad real (g/cm ³)	2.23 (0.23)	2.14 (0.09)	2.11 (0.06)	2.33 (0.22)
Porcentaje de humedad (%)	31.49 (2.23)	29.97 (2.64)	29.91 (2.23)	45.82 (1.22)
Densidad aparente (g/cm ³)	0.86 (0.03)	0.88 (0.07)	0.95 (0.06)	0.59 (0.05)
Porosidad (%)	60.48 (3.41)	59.04 (2.00)	55.05 (2.23)	72.47 (1.57)
pH	5.57 (0.22)	5.49 (0.37)	5.64 (0.03)	5.16 (0.08)
Conductividad eléctrica (μS)	191.92 (46.03)	153.41 (82.68)	216.93 (74.60)	395.50 (23.75)
Materia orgánica (%)	17.04 (2.31)	15.70 (1.77)	16.21 (1.85)	33.05 (5.85)
Na ⁺ (cmol/Kg)	0.43 (0.23)	0.55 (0.17)	0.79 (0.29)	0.31 (0.07)
K ⁺ (cmol/Kg)	1.35 (0.69)	1.05 (0.59)	1.06 (0.47)	0.68 (0.17)
Mg ²⁺ (cmol/Kg)	3.75 (1.64)	6.39 (1.62)	5.49 (0.42)	5.24 (1.71)
Ca ²⁺ (cmol/Kg)	11.65 (1.49)	9.46 (5.32)	11.72 (1.51)	8.51 (2.93)
Suelo desnudo (%)	22.75 (7.7)	39.58 (22)	59.17 (24.5)	**
Presencia de lombrices (%)	83	49.75	24.75	83

Los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.

** El suelo del bosque se encontró cubierto con mantillo.

La densidad real es una propiedad inherente que no cambia con el manejo y que indica la naturaleza del suelo. Que no existan diferencias importantes en esta propiedad muestra que provienen de un material parental similar y nos permite comparar los suelos estudiados.

La Tabla 6 indica que los valores de densidad real que van de 2 a 2.5 g/cm³ corresponden a minerales volcánicos. La densidad aparente de los suelos estudiados fue baja (Tabla 4), lo cual también los caracteriza como de tipo volcánico, hecho que coincide con que sean de tipo Andosol. La densidad aparente y la porosidad se encuentran estrechamente relacionadas, es por esto que suelos con valores de densidad aparente mayor presentan menor porosidad.

Los valores de pH de todos los tratamientos fueron moderadamente ácidos (NOM-021-REC-NAT-2000) ya que se encuentran en el rango entre 5.1 y 6.5 (ver Tabla 1). El maíz crece de forma óptima en pH entre 5.5 y 7 (Porta *et al.*, 2003), los tres tratamientos agrícolas entran dentro de este intervalo (5.57, 5.49 y 5.64). Debido a la baja conductividad que en general presentan los suelos agrícolas estudiados, se infiere que presentan pocas sales disueltas, y que son suelos no salinos (ver Tabla 2). El método utilizado para determinar la materia orgánica tiende a sobreestimar los valores (Manuel Hernández Quiroz, com. pers.), es por este motivo que los valores se muestran altos.

En el bosque, la baja superficie del suelo desnuda se debe principalmente a que por falta de cobertura y una pendiente pronunciada, el agua de lluvia escurre superficialmente y erosiona el suelo. Todas las áreas donde se realizaron los muestreos forestales presentaron mantillo. El suelo desnudo que se observó en las milpas es producto del manejo vegetal que se practica. En el caso del manejo intensivo se utilizan siempre herbicidas (en algunos casos también en el manejo medio), y se remueven de manera mecánica las plantas que no representan parte de los cultivos. Esto reduce la humedad del suelo y el aporte de materia orgánica y nutrientes que suceden de manera natural, lo cual tiene impacto en la macro y microfauna del suelo, y en la transferencia de fluidos y solutos. Estas acciones se ven reflejadas en la presencia de lombrices, ya que se encontraron con mayor frecuencia en el bosque y en las milpas tradicionales (83%), seguido del manejo medio (49.7%) y finalmente en el manejo intensivo (29.7%). Esta diferencia de frecuencias se atribuye también a la aplicación de agroquímicos.

Se esperaba que las diferencias entre los valores de las propiedades del suelo forestal y el suelo agrícola fueran diferentes (Tabla 13), ya que los agricultores mencionan que la remoción de la vegetación natural en las parcelas fue efectuada hace más de 150 años. Todos los entrevistados indican que sus terrenos han sido de uso agrícola desde que tienen memoria, y trabajados por sus antepasados.

La humedad, la densidad aparente, la porosidad, el pH, la conductividad eléctrica y la materia orgánica fueron significativamente diferentes entre las parcelas agrícolas y el suelo forestal. En la Tabla 13 se muestran los cambios positivos y negativos que presentan las milpas en comparación con el suelo forestal. Estas diferencias se deben principalmente a la remoción de la vegetación natural y al arado del suelo (que genera pérdida de estructura y compactación). La remoción de esta vegetación abre el sistema generando una demanda externa de nutrientes (Brussaard *et al.*, 2004), expone el suelo a mayor intemperización y modifica sus propiedades dinámicas, afectando su capacidad de proveer servicios ecosistémicos (Lorencová *et al.*, 2013).

Tabla 13. Porcentaje de cambio (positivo y negativo) entre milpas y el bosque cercano. Los asteriscos (*) indican diferencias significativas entre el tratamiento y el bosque (Kruskal-Wallis $p < 0.05$).

Indicador	Tradicional	Medio	Intensivo	Indicador	Tradicional	Medio	Intensivo
Porcentaje de humedad (%)	-14.34*	-15.85*	-15.91*	Na ⁺ (cmol/Kg)	+0.12	+0.24*	+0.47*
Densidad aparente (g/cm ³)	+0.27*	+0.29*	+0.36*	K ⁺ (cmol/Kg)	+0.67*	+0.37	+0.38
Porosidad (%)	-11.99*	-13.43*	-17.42*	Mg ²⁺ (cmol/Kg)	-1.49	+1.15	+0.24
pH	+0.41*	+0.33	+0.48*	Ca ²⁺ (cmol/Kg)	+3.14	+0.95	+3.21
Conductividad eléctrica (μS)	-203.58*	-242.09*	-178.57*	Suelo desnudo (%)	+22.75	+39.58	+59.17
Materia orgánica (%)	-16.01*	-17.36*	-16.85*	Lombrices (%)	0	-33.25*	-58.25*

A partir de las Tablas 12 y 13 podemos observar que el porcentaje de humedad presente en el bosque es significativamente más alto que aquel en las milpas. Esto se debe a la diferencia en altitud y a la presencia de cobertura forestal, que aporta una mayor cantidad de MO y ésta tiene una alta capacidad de retención de humedad del suelo. Los valores bajos del pH del suelo forestal pueden atribuirse a que hay mayor cantidad de materia orgánica, y debido a su mayor acidez, presenta menor proporción de calcio y magnesio de manera natural. Sin embargo los valores de nutrientes en el suelo (en el caso de las milpas), no sólo dependen de su acidez, sino también de la adición de agroquímicos y desechos orgánicos. La conductividad del suelo forestal es significativamente más alta, lo cual se atribuye a que hay mayor humedad constante y por lo tanto más sales disueltas (USDA, 2011).

La densidad aparente es mayor en suelo agrícola debido a la actividad antropogénica (arado, compactación, remoción de la vegetación) que deteriora la estructura del suelo, disminuyendo su porosidad y la capacidad del mismo de permitir la transferencia de aire, agua y solutos (Beutler *et al.*, 2002; Martínez y Zinck 2004, Zimmermann *et al.* 2010). El contenido de agua disponible puede ser un factor determinante de la actividad microbiana en el suelo; a mayor porosidad, mayor porcentaje de humedad. Este factor y el hecho de que el aporte de MO del bosque sea de mayor cantidad y calidad que el de las milpas y que no haya sido alterado, nos hace inferir que la actividad microbiana de los bosques es mayor que la de las milpas. Esta inferencia se remarca al comparar el suelo forestal con las milpas intensivas, ya que los plaguicidas y herbicidas acaban con parte de esta microfauna (Martínez-Alva, 2015).

Al comparar los valores obtenidos de todos los tratamientos con la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$), se obtuvo que los valores en las propiedades del bosque son diferentes a los de suelo agrícola en todos los casos excepto para las bases intercambiables. Como se observa en la Tabla 12, los valores de sodio (Na^+) en el bosque y en las milpas tradicionales son significativamente más bajos que los encontrados en el suelo con tratamiento intensivo y medio. El potasio (K^+) es significativamente mayor en las milpas tradicionales que en las intensivas, las medias, y el suelo forestal. El magnesio (Mg^{2+}) presenta valores menores en las milpas tradicionales que en las medias e intensivas, y valores estadísticamente iguales entre cada tratamiento agrícola y el bosque. Los valores de calcio (Ca^{2+}) son estadísticamente iguales en todos los casos.

Debido al aumento de la vulnerabilidad a la erosión que presentan los suelos de tipo Andosol en pendientes pronunciadas, las tierras adecuadas para el manejo agrícola son aquellas que se encuentran en los valles o con baja pendiente. La WRB (2007) sugiere que para pendientes pronunciadas, estos suelos se mantienen mejor bajo bosque. Esta situación resalta la necesidad de mantener la fertilidad y salud de los suelos en las actuales tierras agrícolas.

A pesar de que el resto de las propiedades no presentan diferencias significativas entre sistemas de manejo agrícola, se observan ciertas tendencias en sus valores. En la Figura 6 se presentan los datos correspondientes a la densidad aparente. Se puede observar una tendencia a al aumento de densidad aparente y disminución de la porosidad (Figura 7) a medida que se intensifica el manejo.

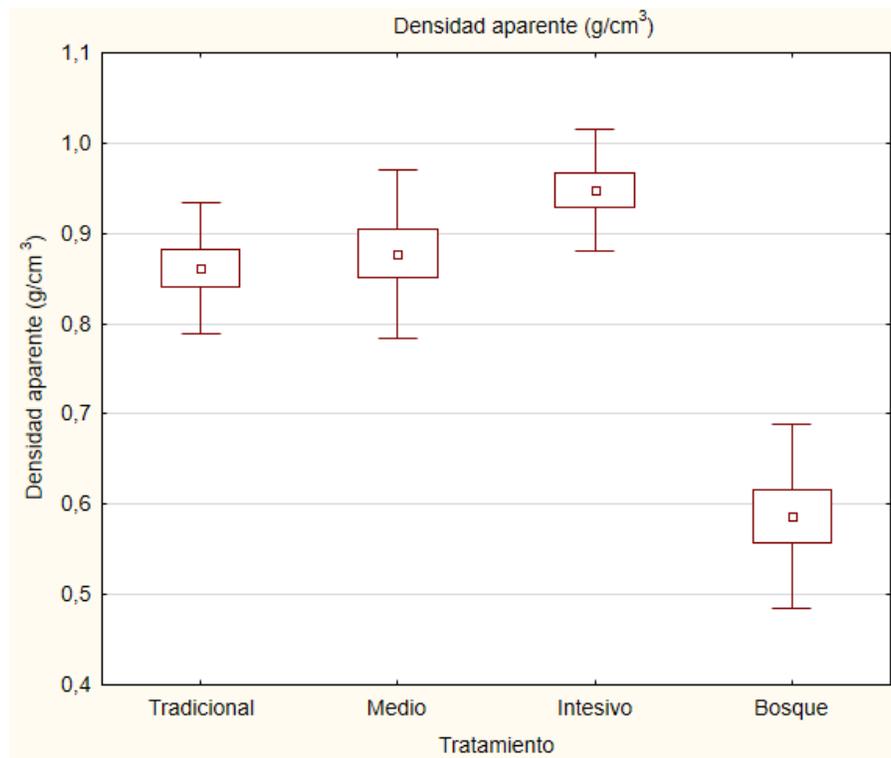


Figura 6. Valores de densidad aparente obtenidos para suelo forestal y suelo agrícola con tres manejos diferentes en Tlazala de Fabela, Estado de México. La caja pequeña muestra el promedio, la caja grande el error estándar (\pm) y las líneas verticales la desviación estándar (\pm).

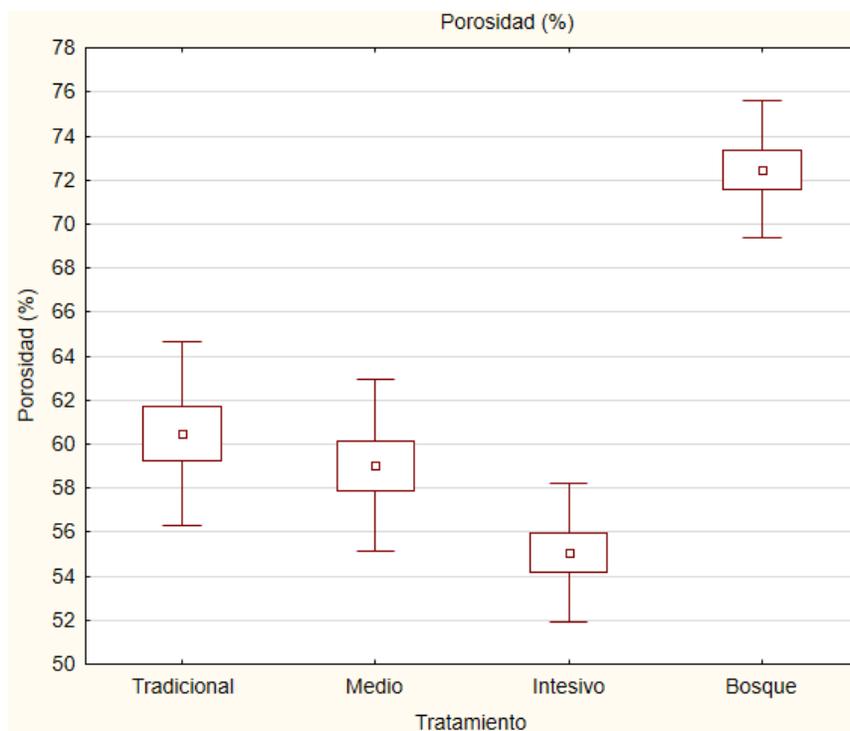


Figura 7. Valores obtenidos para la porosidad en suelo forestal y agrícola bajo tres manejos diferentes en Tlazala de Fabela, Estado de México. La caja pequeña muestra el promedio, la caja grande el error estándar (\pm) y las líneas verticales la desviación estándar (\pm).

La densidad aparente es una propiedad dinámica del suelo que cambia fácilmente con el manejo. El arado intenso incrementa la densidad del suelo, debilita su estructura y disminuye la porosidad. Esta actividad y el uso de tractor en el método intensivo pueden ser el motivo por el cual la densidad aparente es mayor y la porosidad menor en las parcelas intensivas, quizá por pérdida de estructura y/o colapso de los macroporos. A la larga, esta situación conduce al aumento de escorrentía superficial y de erosión del suelo (Korkanc *et al.*, 2008). A pesar de que esta tendencia es visible, la porosidad y densidad aparente entre tratamientos no presenta diferencias significativas, y en los tres tratamientos agrícolas las condiciones son adecuadas para el crecimiento vegetal (< 1.1 ; Tabla 5).

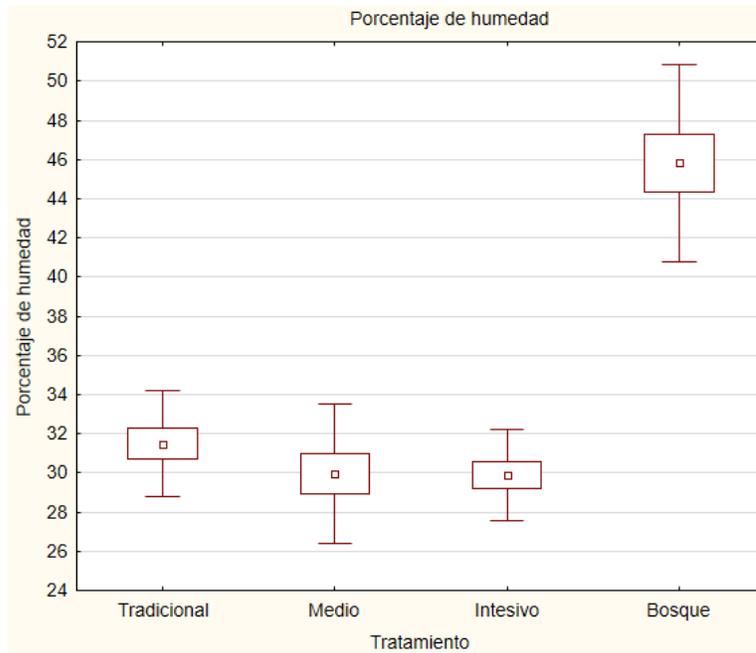


Figura 8. Valores de porcentaje de humedad presente en suelo forestal y suelo agrícola con tres manejos diferentes en Tlazala de Fabela, Estado de México. La caja pequeña muestra el promedio, la caja grande el error estándar (\pm) y las líneas verticales la desviación estándar (\pm).

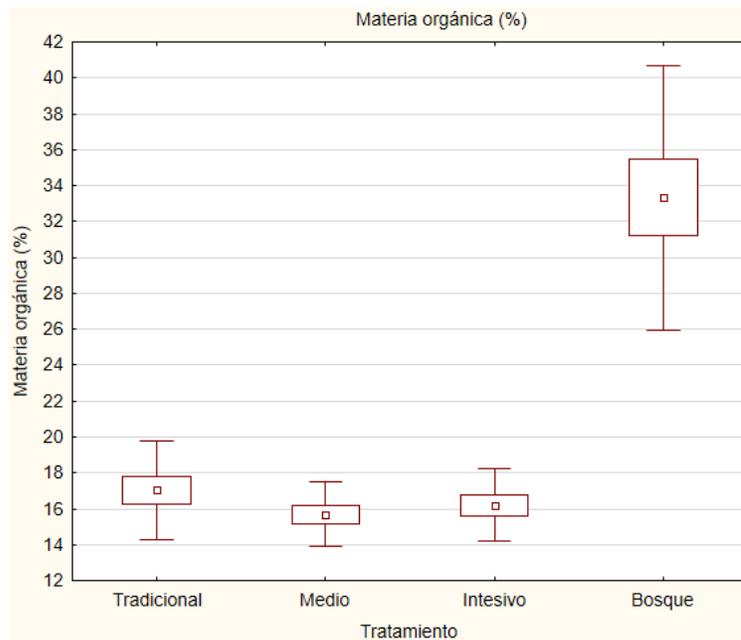


Figura 9. Valores de materia orgánica presente en suelo forestal y suelo agrícola con tres manejos diferentes en Tlazala de Fabela, Estado de México. La caja pequeña muestra el promedio, la caja grande el error estándar (\pm) y las líneas verticales la desviación estándar (\pm).

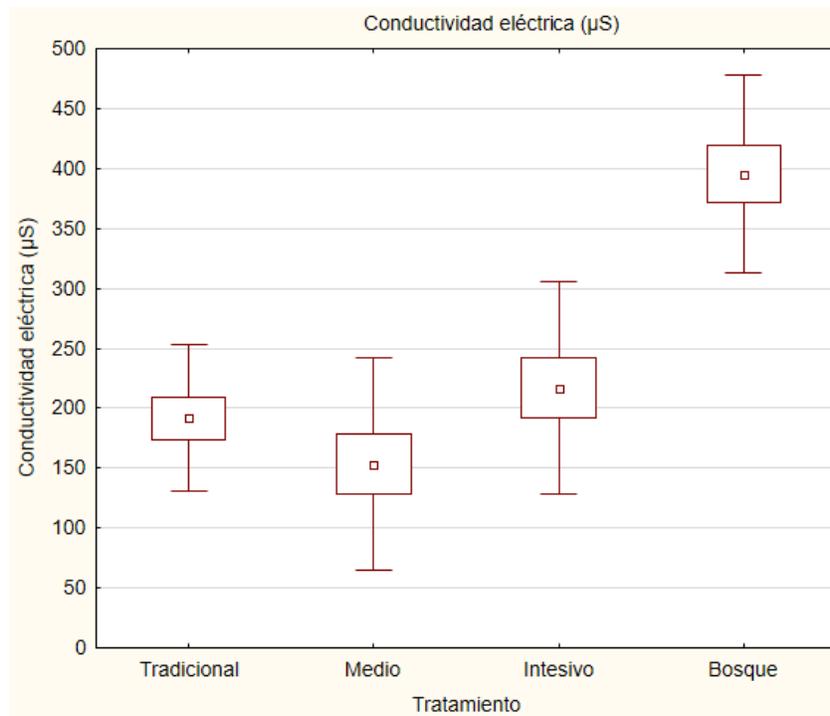


Figura 10. Valores de conductividad eléctrica obtenida para los cuatro tratamientos en Tlazala de Fabela, Estado de México. La caja pequeña muestra el promedio, la caja grande el error estándar (\pm) y las líneas verticales la desviación estándar (\pm).

En la Figura 8 observamos una tendencia a la disminución de la humedad a medida que se hace más intensivo el manejo. Posiblemente estas tendencias se deban a que en el manejo intensivo se evitan las malezas y el suelo se encuentra más compactado, y por lo tanto retiene menor cantidad de agua. La presencia de materia orgánica (Figura 9) es mayor en las milpas tradicionales, y la conductividad eléctrica (Figura 10) es mayor en las milpas intensivas, valores relacionados con la salinidad y la presencia de mayor cantidad de bases intercambiables producto de la adición de insumos químicos. El pH es también una variable dependiente del manejo (Grossman *et al.*, 2001), y varía ligeramente entre tratamientos, siendo más ácido en el manejo medio, seguido del tradicional y posteriormente el intensivo.

En las parcelas con manejo tradicional se encontraron lombrices de tierra con la misma frecuencia que en el suelo de bosque. Las lombrices mezclan y descomponen los componentes del suelo, favoreciendo la actividad microbiana, el crecimiento de raíces, la estructura del suelo y el movimiento y retención de agua y aire. Su presencia en estas parcelas nos indica mejor calidad y mayor biodiversidad. Posiblemente la baja frecuencia de avistamiento de lombrices en las milpas

medias e intensivas se relaciona con la adición de agroquímicos, especialmente de plaguicidas. De lo cual se cree que probablemente la fauna y flora del suelo sean la esfera que ha sufrido mayor impacto por el manejo intensivo, lo cual resalta la importancia de utilizar mayor cantidad de indicadores biológicos, como respiración del suelo, biomasa microbiana y enzimas para conocer con mayor certeza los efectos que tienen los diferentes manejos en la salud del suelo.

Los tratamientos tradicional y medio presentan características más cercanas entre ellos que con el intensivo. Podría decirse que esto se debe al uso de maquinaria pesada ocasional y plaguicidas, generando un mayor impacto que el uso de fertilizante químico. Sin embargo, las diferencias entre las propiedades físicas y químicas de los suelos de las parcelas agrícolas de los tres tratamientos no presentan cambios significativos. Esto puede deberse a que, a pesar de que se practica un tratamiento intensivo en algunas partes, este no genera gran impacto o lleva muy poco tiempo de ser implementado para observar cambios (Osawa *et. al*, 2016), lo cual podría ser una de las razones principales, ya que la agricultura tecnificada en Tlazala lleva poco tiempo, y quienes realizan manejo intensivo aún se encuentran explorando con los productos del mercado. Aun así, se reconoce que si se continúa con el manejo intensificado esto conducirá a un proceso de degradación más severo. La frecuencia con la que se encontraron lombrices según el tratamiento nos habla de que posiblemente la fauna y flora del suelo son la esfera que ha sufrido mayor impacto por el manejo intensivo. Esto resalta la importancia de realizar nuevas pruebas utilizando mayor cantidad de indicadores biológicos, como respiración del suelo, biomasa microbiana y enzimas, además de la evaluación futura de las propiedades ya estudiadas, para reconocer si hay cambios con el paso del tiempo y detectar de forma más certera a qué se deben.

Los ecosistemas y paisajes inducidos por el hombre siempre involucran cambios en el suelo (Yaalon, 2007). Partiendo de la premisa de que un suelo natural (sin manejo) debería de presentar mayor salud y estabilidad que aquel que recibe manejo humano, podemos decir que el suelo agrícola de Tlazala se encuentra levemente deteriorado, ya que algunas de sus funciones ecológicas se han visto ligeramente truncadas o reemplazadas, sin afectar su funcionalidad general.

6.2 Fitoagrobiodiversidad

El estudio registró un total de 55 especies agrupadas en 21 familias presentes en las milpas (Tabla 14). Las familias más importantes en términos de número de especies fueron Asteraceae (18.2%), Cucurbitaceae (10.9%), Fabaceae (9.1%) y Polygonaceae (9.1%). Con relación a la forma de vida, se encontraron hierbas y algunas trepadoras. En ningún caso se encontraron en las milpas especies vegetales presentes en suelo forestal.

Tabla 14. Representatividad de familias presentes en las milpas estudiadas en Tlazala de Fabela, Estado de México.

Familia	Número de especies	%
Asteraceae	10	18,2
Cucurbitaceae	6	10,9
Fabaceae	5	9,1
Polygonaceae	5	9,1
Brassicaceae	3	5,5
Caryophyllaceae	3	5,5
Commelinaceae	3	5,5
Poaceae	3	5,5
Amaranthaceae	2	3,6
Onagraceae	2	3,6
Oxalidaceae	2	3,6
Scrophulariaceae	2	3,6
Boraginaceae	1	1,8
Chenopodiaceae	1	1,8
Convolvulaceae	1	1,8
Iridaceae	1	1,8
Lamiaceae	1	1,8
Malvaceae	1	1,8
Primuliacae	1	1,8
Solanaceae	1	1,8
Verbenaceae	1	1,8
TOTAL	55	100

Se realizó la prueba estadística de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$), a partir de la cual se obtuvo que los manejos agrícolas no presentan diferencias significativas en los índices de diversidad utilizados. En la Tabla 15 se muestran los resultados de diversidad y riqueza obtenidos para cada tratamiento agrícola. La riqueza fue mayor en las parcelas donde se realiza tratamiento tradicional (casi el doble que en aquellas donde se realizó intensivo), lo cual se esperaba debido a que en estos

espacios no se utilizan herbicidas ni plaguicidas, y tampoco se insiste en la remoción mecánica de las arvenses. El manejo medio (sin plaguicidas) se encuentra en segundo lugar, hecho que se atribuye posiblemente al uso ocasional de herbicidas, y por último, se encuentra el tratamiento intensivo, con una riqueza específica de 24.

Tabla 15. Valores de riqueza y diversidad de especies según tratamiento.

	Riqueza	Índice de Simpson	Índice de Shannon-Wiener (H')	Diversidad funcional (mono/dico)	Índice de especies exóticas/nativas
Tradicional	41	0.20	2.03	0.24	0.83
Medio	34	0.18	1.93	0.22	1.06
Intensivo	24	0.46	1.29	0.20	0.51

El índice de Simpson se basa en la dominancia, y toma en cuenta la representatividad de las especies más importantes. Tener un valor mayor de Simpson nos indica la dominancia de algunas especies. El valor de Simpson obtenido para el tratamiento intensivo (0.46) resultó ser mayor que los del resto de los manejos, siendo para los tratamientos medio y tradicional casi iguales (0.02 de diferencia). Esto habla de la dominancia de ciertas especies en el tratamiento intensivo, lo que podría deberse a un mal manejo agronómico (Major *et al.*, 2005). Como Jauzein (2001) y Fried *et al.* (2008) demostraron, la intensificación agrícola conduce a un aumento en las plantas anuales o generalistas que reemplazan a las arvenses especialistas. En este estudio, esta dominancia se corroboró en campo al observar un denso crecimiento de *Oxalis pes-caprae* L. (especie exótica; CONABIO, 2009), conocido como “xocoyol” en la mitad de las milpas intensivas. Podría decirse que esta especie ha colonizado estas parcelas debido a que podrían ser más resistentes a los agroquímicos, que han fungido como una presión de selección (Neve, 2007), situación que les permite acaparar ciertos recursos y que el banco de semillas se enriquezca con sus propágulos a costa de la diversidad vegetal. La intención de erradicar la presencia de esta especie a través de más agroquímicos ha generado un gasto extra para los campesinos que tienen este tipo de parcelas y una visión más tecnificada del manejo agrícola. El Índice de Simpson es un

valor inverso a la equidad y la diversidad (Giménez *et. al.*, 2007), por lo tanto la diversidad en las milpas con manejo medio y tradicional es mayor. Esta diversidad permite a los organismos evadir la intensa competencia por alimentación o espacio, disminuye la invasión y mantiene el funcionamiento constante del ecosistema en presencia de condiciones ambientales fluctuantes (Collins y Qualset, 2000).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener fue mayor para el tratamiento tradicional ($H' = 2.03$), seguido por el manejo medio ($H' = 1.93$), y por último el del manejo intensivo ($H' = 1.29$). Este resultado indica que hay mayor heterogeneidad en las milpas tradicionales y medias, ya que presentan una distribución de abundancias más equitativa que aquella representada en las milpas intensivas.

La diversidad funcional, representada en este estudio con el índice monocotiledóneas/dicotiledóneas, parte de la premisa de que las plantas dicotiledóneas son más atractivas para los polinizadores que las monocotiledóneas (González-Esquivel *et al.*, 2015). Este índice resultó relativamente parecido entre los tres tratamientos; siendo el manejo tradicional aquel con mayor índice (0.24), seguido del tratamiento medio (0.22) y finalizando con el tratamiento intensivo (0.20). Un valor mayor en este índice indica mayor representatividad de especies monocotiledóneas. Los valores obtenidos para los tres manejos son bajos, lo cual habla de mayor representatividad de dicotiledóneas en todos los casos, y por lo tanto, mayor atracción de polinizadores. Se cree que el valor de la diversidad funcional resultó mayor para las milpas tradicionales debido a que estas parcelas presentan en general mayor cantidad de vegetación no cultivada.

En el caso del índice de especies exóticas/nativas, el valor más bajo está representado por el manejo intensivo (0.51), seguido del tradicional (0.83) y finalizando con el tratamiento medio (1.06). En este caso, un valor mayor indica mayor presencia de especies exóticas. Todos los valores son bajos, sin embargo, las especies exóticas se encuentran mejor representadas en las milpas con manejo medio, situación que podría atribuirse a que en estas parcelas se utilizan agroquímicos y abono orgánico, lo cual permite mayor colonización de especies vegetales, a pesar de que estas tienden a ser removidas. A la vez, la baja representatividad de especies exóticas en las milpas intensivas puede deberse a que la cubierta vegetal es removida de manera constante, y que las

primeras plantas en recolonizar estas parcelas sean las plantas nativas debido a su adaptación al ambiente. Finalmente, se cree que el valor de especies exóticas presentes en las milpas tradicionales es mayor debido a que en estas milpas sólo se remueve la cubierta vegetal si esta excede el tamaño tolerado.

La Figura 11 muestra el comportamiento que presentaron los índices utilizados en este estudio con relación al tipo de manejo. Se observa una tendencia entre los tratamientos tradicional y medio con el intensivo, el cual presenta menor diversidad, menor equidad, mayor dominancia y menor representatividad de especies exóticas.

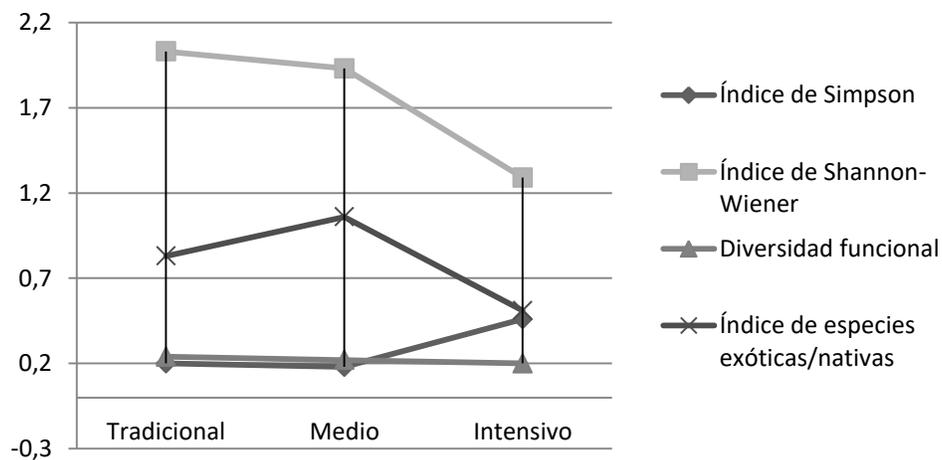


Figura 11. Representación gráfica de los valores de diversidad obtenidos en suelo agrícola según el manejo en Tlazala de Fabela, Estado de México.

La diversidad agrícola promueve la fertilidad del suelo y la polinización (Power, 2010), provee refugio y funge como presa alternativa de enemigos naturales (Altieri 2002, Gomiero *et al.* 2011, González-Esquivel *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos para el coeficiente de semejanza florística de Sørensen entre tratamientos se muestran en la Tabla 16. Se obtuvo que los tratamientos medio y tradicional presentan una semejanza de 77%, el tratamiento medio e intensivo una semejanza de 66% y el tradicional e intensivo de 52%. Estos resultados nuevamente nos hablan de que el impacto en la diversidad vegetal que recibe el tratamiento intensivo es mayor.

Tabla 16. Coeficientes de semejanza florística entre los tres tratamientos agrícolas

Unidades comparadas		Especies en A	Especies en B	Especies compartidas	Coefficiente de Semejanza de Sørensen	%
A	B					
Tradicional	Medio	41	34	29	0,77	77
Tradicional	Intensivo	41	24	17	0,52	52
Medio	Intensivo	34	24	19	0,66	66

La riqueza de cada tipo de manejo se encuentra representada tanto por especies compartidas entre tratamientos (tolerantes) como por especies específicas o exclusivas, es decir, que sólo se encontraron en milpas bajo cierto tipo de tratamiento. Como se muestra en la Figura 12 la mayoría de las especies encontradas fueron tolerantes a todos los tipos de manejo, pero se encontraron con diferentes coberturas. Se hallaron más especies exclusivas del manejo tradicional, seguido por el manejo medio (específicas de fertilizante) y por el manejo intensivo (específicas de pesticidas y fertilizantes) por igual. Es necesario realizar más muestreos a lo largo del año y dar un mejor seguimiento de las arvenses que crecen en cada tratamiento para determinar con certeza sus tolerancias.

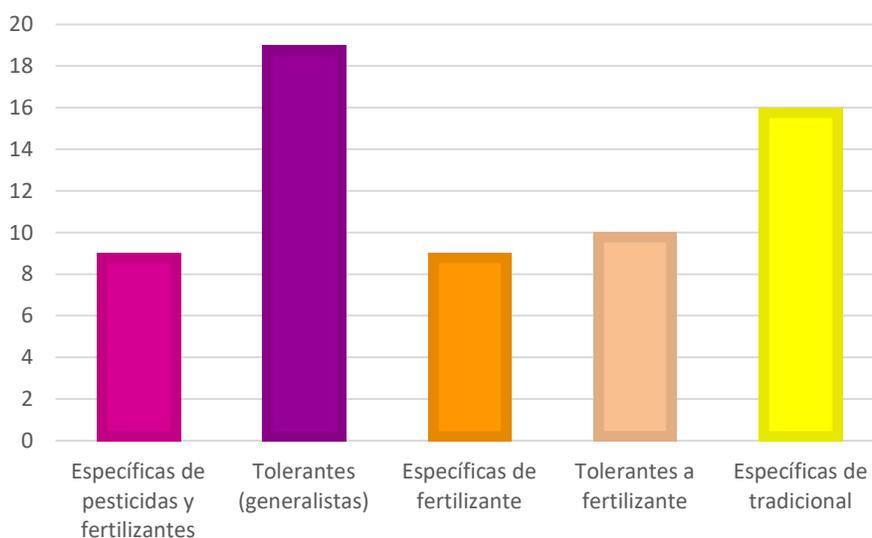


Figura 12. Representatividad de especies por nivel de tolerancia o exclusividad encontradas en este estudio según el manejo agrícola

Los pobladores de Tlazala utilizan las hierbas silvestres, ruderales y arvenses para cubrir algunas de sus necesidades de alimentación, salud y mantenimiento del ganado o animales domésticos. A partir del muestreo realizado en las milpas y de la identificación de los ejemplares se realizó una investigación sobre el uso que tienen las especies encontradas (Figura 13). Las especies arvenses se utilizan principalmente como forraje para alimentar a los animales que más tarde proveerán abono orgánico, y productos derivados de los mismos. Las plantas medicinales son las segundas más mencionadas en las parcelas de este poblado, seguidas por las comestibles (quelites), las ornamentales, melíferas, ceremoniales y utilizadas como pigmento. Son muy pocas las plantas arvenses a las que no se les da ningún uso. La diversidad de usos que tienen las arvenses forman parte del conocimiento tradicional de la región y representan parte importante de la cultura biológica, además de proporcionar servicios ecosistémicos importantes de aprovisionamiento (como alimento, recursos medicinales y genéticos), de soporte (atracción de polinizadores, control biológico, acumulación de carbono), de regulación (reducen la erosión hídrica del suelo, promueven la retención de humedad, retienen sedimentos, aportan materia orgánica) y culturales (uso en ceremonias, utilización como pigmento).

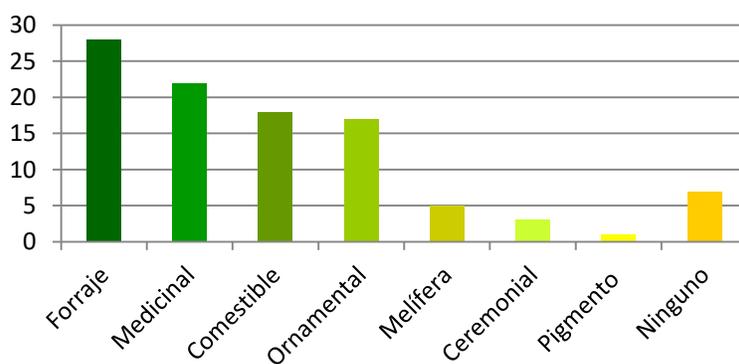


Figura 13. Usos de las especies vegetales encontradas en las milpas estudiadas en Tlazala de Fabela, Estado de México.

6.2.1 *Análisis canónico de correspondencia*

El análisis canónico de correspondencia (ACC) muestra el patrón general de variación en la composición de la comunidad vegetal explicado por las variables ambientales (pH, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad, materia orgánica, porosidad, densidad real y aparente, y cationes intercambiables), y la distribución de las especies a lo largo de cada variable (Ter Braak, 1986). Los resultados para dicho análisis se encuentran en la Tabla 17. Los puntos representan las especies y parcelas estudiadas, y los colores el tratamiento (tradicional=naranja, medio=amarillo, intensivo=rosa y bosque=verde). Las flechas indican la variabilidad en las propiedades del suelo, su dirección la correlación entre factores y su longitud es igual a la tasa de cambio, por lo tanto es una medida de cuánto difieren las distribuciones de especies a lo largo de esta variable ambiental (Ter Braak, 1986). Las variables más importantes se encuentran representadas por flechas más largas.

En la Figura 14 podemos observar claramente la diferencia en la composición que existe entre el suelo con manejo agrícola y el forestal. Las propiedades con mayor tasa de cambio de una vegetación a otra son: la conductividad eléctrica, el porcentaje de humedad, la materia orgánica, la porosidad y el pH, diferencias que influyen significativamente en la vegetación presente. Como se mencionó anteriormente, estas diferencias se deben principalmente a la remoción de la vegetación natural y al arado, acciones que cambian significativamente las condiciones ambientales, generando cambios en composición vegetal.

La conductividad eléctrica y el pH son factores importantes que determinan la composición, y se encuentran inversamente relacionadas; a mayor pH, menor conductividad eléctrica. A partir del ACC y del tamaño del vector correspondiente a la densidad aparente, se podría creer que la DA es una variable secundaria que aparentemente no influye de gran manera en la composición vegetal, sin embargo, se puede observar que su relación con la humedad, la materia orgánica y la porosidad es inversa, las cuales son variables que determinan fuertemente la vegetación. A menor densidad aparente, mayor porosidad, humedad y materia orgánica.

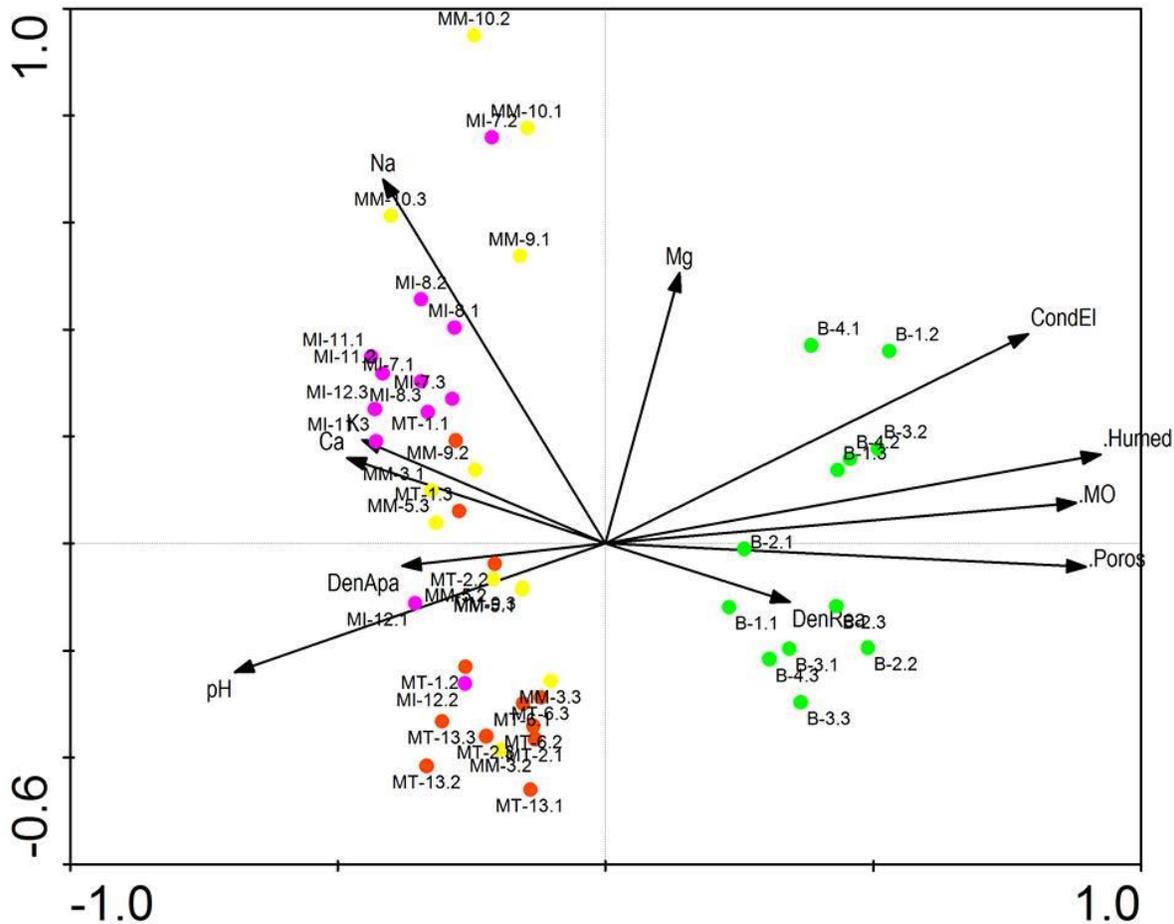


Figura 14. Análisis canónico de correspondencia (ACC). Valores de las propiedades del suelo y tratamientos por parcela de muestreo incluyendo al bosque, en Tlazala de Fabela, Estado de México. MT= Manejo Tradicional, MM= Manejo Medio, MI= Manejo intensivo y B= Bosque. Los números indican la unidad de muestreo.

Tabla 17. Resultados del análisis canónico de correspondencia de las parcelas estudiadas en Tlazala de Fabela, Estado de México.

	1	2
Eigenvalores	0.618	0.277
Correlaciones especies-ambiente	0.898	0.898
De especies	14.9	21.6
De relaciones especies-ambiente	35.6	51.6

No se observan agrupaciones claras entre la composición de los tratamientos agrícolas. Sin embargo, sí existen ciertas tendencias por tratamiento, siendo el manejo medio el menos agrupado, quizá por el hecho de que se utilizan tanto prácticas intensivas como tradicionales. Los valores obtenidos para las bases intercambiables, sobre todo para el sodio, son aquellos que generan mayor dispersión, lo cual podría atribuirse al empleo de distintos fertilizantes, ya que son mayores en el caso de los tratamientos medio e intensivo. A pesar de que los valores de conductividad eléctrica, humedad, materia orgánica y pH para el manejo agrícola son relativamente parecidos, sí influyen en la composición vegetal haciéndola variar de tratamiento a tratamiento.

Se observaron agrupaciones ligeras en la composición vegetal de los tratamientos agrícolas. El tratamiento medio es el que presenta mayor dispersión quizá por el hecho de que en este tipo de manejo se utilizan prácticas intensivas y tradicionales. Además, se observó que la conductividad eléctrica y el pH son factores importantes que determinan la composición vegetal. Los tratamientos tradicional y medio presentan características de suelo y vegetación arvense más cercanas entre ellos que con el intensivo.

6.3 Percepción social

6.3.1 Entrevistas semi-estructuradas a campesinos

Las edades de los entrevistados fueron de 17 a 81 años y el promedio fue de 52 años, 3 fueron mujeres y 12 hombres. Al preguntar cuál consideraban su ocupación 52% respondió ser campesino. El acceso a la información fue relativamente difícil, debido a la falta de confianza que presentaron algunos pobladores por una situación político-agrícola presente durante la temporada de levantamiento de encuestas.

La mayoría (87%) de las tierras de cultivo se han adquirido a través de herencia familiar y casi todas son únicamente de temporal (69%). El trabajo de la milpa se aprende a través de los padres y/o abuelos y de la misma manera se enseña a los hijos. Son pocos quienes se cuestionan sobre el manejo que les enseñaron sus padres y hacen cambios en él; la mayoría dice hacerlo así por tradición. Es importante promover un manejo racional que integre los conocimientos

tradicionales (Parr *et al.*, 2002) y el saber científico para generar un manejo que busque la salud ambiental, la productividad (Pretty *et al.*, 2011) y que a la vez preserve los conocimientos culturales locales.

La producción agrícola de Tlazala es para consumo personal (65%), de venta local (25%) y de venta externa (10%). Los campesinos ya no buscan acceder al mercado porque dicen que la siembra del maíz no es redituable. Comentan que ya no se puede vivir de eso porque los precios de compra son muy bajos, los apoyos mínimos y los productos (agroquímicos) muy caros. Es por esto que se busca obtener ingresos de otros sectores como el comercio, la industria, y la construcción, lo que resulta en que la producción se destine al consumo personal. Esta situación ha favorecido los suelos y la biodiversidad de Tlazala en el sentido de que no se han implementado de manera significativa medidas intensivas de manejo agrícola. Sin embargo, las familias se ven en la necesidad de generar ingresos en zonas más urbanizadas o a partir de urbanizar el poblado de Tlazala, situación que genera migración y deterioro del ambiente por el cambio de uso de suelo y remoción de la vegetación.

La diversidad de cultivos que se siembra actualmente se presenta en la Figura 15, en la cual podemos observar que el maíz, además de ser el elemento principal presente tradicionalmente en la milpa, es de los principales cultivos en la parte baja de Tlazala, seguido del haba y del frijol. En las partes más elevadas del municipio se siembran papa y avena principalmente. A pesar de que algunos elementos no se siembran de forma activa por los agricultores, germinan en las tierras a través de sus parientes silvestres (como es el caso de la calabaza), como producto del banco de semillas presente en el suelo y como plantas arvenses (quelites).

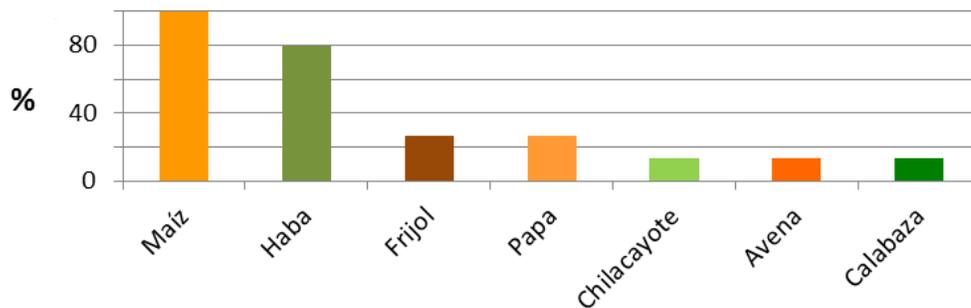


Figura 15. Frecuencia de aparición de cultivos en las milpas de los agricultores entrevistados en Tlazala de Fabela, Estado de México.

En cuanto al manejo, el arado se realiza generalmente con yunta. Son pocos aquellos que utilizan tractores para realizar esta actividad, y comúnmente son quienes visualizan producciones mayores y ventas en el exterior. Se menciona que las tierras en Tlazala no son para tractor debido a su inclinación.

Casi la mitad de los campesinos utilizan lama (como se conoce localmente al estiércol) para agregar nutrientes a la tierra como se observa en la Figura 16. Esta lama lleva un tratamiento previo para su óptimo funcionamiento. La urea es el fertilizante químico más utilizado seguido del fosfato diamónico, conocido como abono 18-46 y la cal hidratada. En Tlazala el manejo tradicional (con estiércol) sigue representando la mayoría debido a los tamaños de las producciones, que son para consumo personal y por lo tanto no remuneradas económicamente, razón por la cual los campesinos buscan invertir lo menos posible en insumos. Aquellas parcelas donde el manejo es intensivo, y donde se utilizan dos o más fertilizantes de los mencionados en la Figura 16, son para venta dentro y fuera de Tlazala.

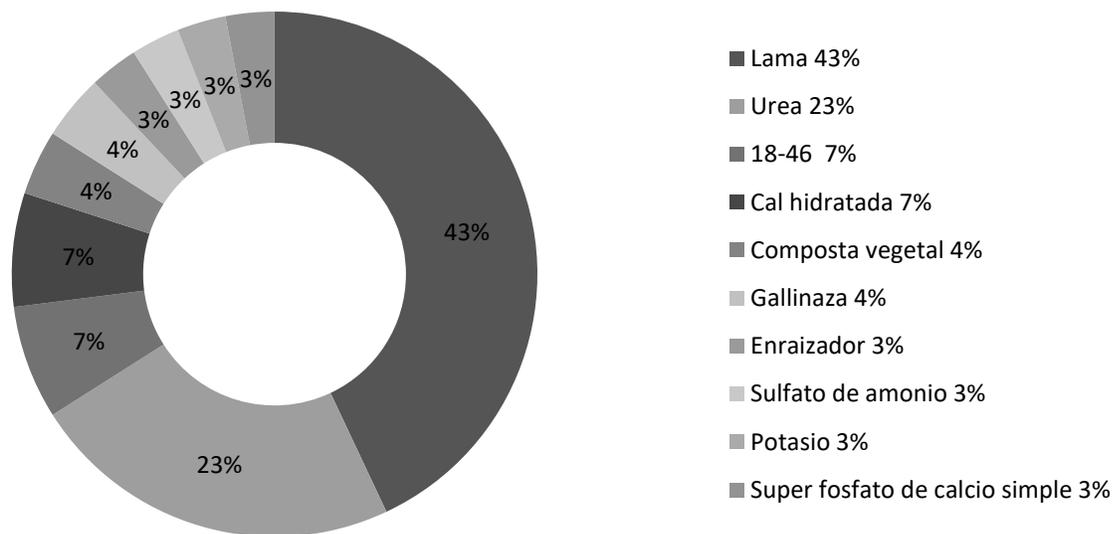


Figura 16. Elementos naturales y sistenzados utilizados en Tlazala para la fertilización de la tierra.

Con relación al uso de plaguicidas, la gente en Tlazala evita usarlos por los costos y porque han notado efectos negativos. La mayoría de los habitantes los ha utilizado en momentos críticos, y no como parte sistemática del manejo. Nuevamente, aquellos que los utilizan de forma sistemática son quienes tienen producciones más grandes, y representan una minoría (20%) en el poblado de Tlazala (Figura 17). Más del 50% de la población utiliza herbicidas, siendo los más utilizados Marvel (dicamba y atrazina) y Faena Fuerte (glifosato).

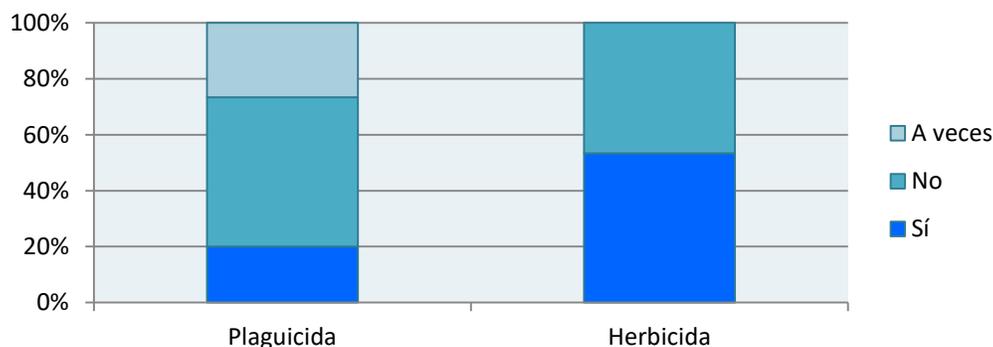


Figura 17. Uso de plaguicidas y herbicidas en los cultivos en Tlazala, Estado de México.

Sin embargo, al preguntarles qué pensaban sobre los plaguicidas, 40% no tuvieron respuesta, mientras que el resto respondió que queman el suelo (20%), contaminan (20%) y dañan el ambiente (10%). Este resultado nos muestra la falta de información general que se tiene sobre

los productos que se utilizan. Lo cual es grave debido a que esta falta de conocimiento propicia el mal empleo de los químicos y pone en riesgo la salud humana y ambiental.

Las semillas de maíz que se utilizan en Tlazala son 70% criollas. Son seleccionadas y almacenadas por los campesinos cada año y en caso de no contar con reservas, comúnmente se reciben de algún familiar o conocido, y de no ser así, se compran. Todos los entrevistados afirman sobre el conocimiento de las “semillas mejoradas” debido a que son las que se ofrecen gubernamentalmente a manera de apoyo. Se entiende que estas semillas son seleccionadas de manera artificial, pero no se tiene una idea clara sobre la diferencia que tienen con otras semillas (ya sea selección mecánica o material genéticamente modificado). La mayoría (66%) las ha utilizado alguna vez, pero opinan que no sirven (50%), ya que no están diseñadas para el ambiente de Tlazala. Otra parte de la población (33%) dice no estar interesada en su uso y la minoría (17%) dice que “están mal” sin dar explicación alguna.

Todos los entrevistados afirman que les gusta sembrar. La razón principal considerada fue que es el alimento (36%), seguido por satisfacción personal, seguridad de lo que se consume y deber (11%). Como podemos observar en la Figura 18, el trabajo de la milpa no sólo provee a las personas de alimento, sino que genera bienes intangibles tales como identidad, satisfacción, seguridad y bienestar. Sin embargo, como notaron Jackson et al., (2007), los agricultores no perciben claramente los beneficios externos de la conservación de la agrobiodiversidad y salud ambiental a escalas más grandes, y no se reconoce ninguno de los servicios de soporte y regulación que proveen las tierras agrícolas mencionados en la Tabla 7. Como establecen Buijs et al., (2005) las *imágenes de la naturaleza* se construyen a partir de un largo discurso cultural, que resulta en la internalización de connotaciones culturales para el paisaje (Löfgren, 1994). Estas *imágenes* pertenecen a una aproximación más emocional y expresiva de la naturaleza, e influyen la forma en que se percibe el paisaje y cómo es que se valora. Estas construcciones no sólo influyen en las percepciones y significados del ambiente, sino que también se forman y transforman por las experiencias, ya que las imágenes se construyen a partir de experiencias directas, así como a través de los discursos populares, científicos y políticos (Eder, 1996; Macnaghten y Urry 1998; Turnhout et al., 2004, Buijs et al., 2005), lo cual hace pensar que de alguna manera el mensaje sobre el cuidado del ambiente se ha sembrado, más no se sabe si desde la reflexión o a través de discursos mediáticos. Este tipo de relación, construida desde la reflexión,

es indispensable para valorar el ambiente de una manera más profunda, estrechar la relación humano-ambiente y con ello generar un manejo integral y racional del exterior.

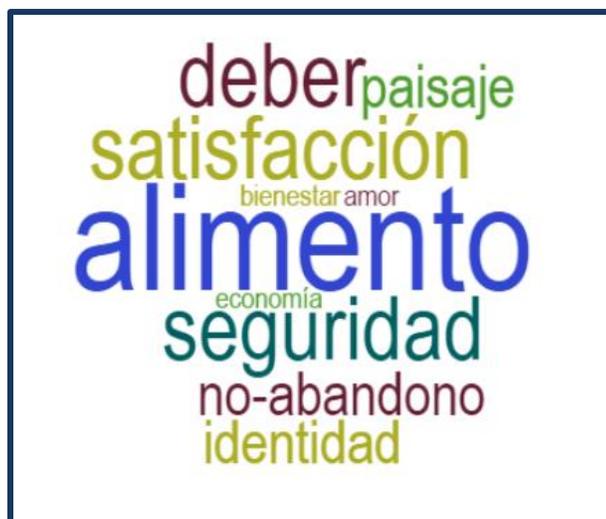


Figura 18. Respuestas sobre el motivo por el cual se siembra en Tlazala de Fabela, Estado de México. El tamaño de la palabra es proporcional a la frecuencia con la que la palabra fue dada como respuesta.

Sin embargo, esta situación parece ser crítica ya que las entrevistas fueron aplicadas a personas con un promedio de 52 años. Al preguntar sobre la relación que ellos observan entre los jóvenes actuales y el campo las respuestas indican que los jóvenes no tienen interés en continuar con el trabajo de la milpa (43%), la actividad les parece muy cansada, la ganancia es poca y “les falta amor por el campo”. La población de jóvenes que aún saben trabajar la tierra es de 22%. Algunos de los hijos y nietos de los entrevistados se han mudado a la ciudad y se dedican al sector secundario y terciario.

El panorama que se presenta a futuro es preocupante debido a que al abandonar los jóvenes la tierra, se pone en riesgo la tradición de la milpa en esta localidad y se promueve el consumo de productos foráneos (con las externalidades que ello conlleva). Lamentablemente, en las zonas rurales el acceso a comida procesada es fácil y en ocasiones visto como forma de “progreso”, lo cual hace que la población sea más vulnerable a recibir una alimentación deficiente. El bajo costo de los alimentos procesados (asociado con la agricultura industrial) y el cambio en el estilo de vida (asociado con el aumento de la urbanización) han dejado a México con una crisis de

salud pública (ENES, s.f). El 70% de los mexicanos mayores a 15 años presenta sobrepeso y 32.4% sufre de obesidad, mientras que más de uno de cada tres niños se encuentra en una situación similar (OECD, 2015). Además, el abandono de estas tierras aunado con el crecimiento demográfico promueve el cambio de uso de suelo y con ello el deterioro de la calidad ambiental.

Se pidió a los entrevistados que dieran una definición para “medio ambiente” (Figura 19). Se refirieron a factores ambientales tales como el clima, la lluvia y la vegetación 37% de los entrevistados. Un porcentaje de campesinos similar (36%) no expresó una definición, su primer respuesta fue sobre la relación que piensan que se debe tener con él. Esto es interesante ya que se tiene una aproximación personal sobre la relación que se debe propiciar, es decir, una relación de cuidado y atención. Keulartz *et al.* (2004), definen tres componentes de la construcción de los conceptos naturales: el *componente cognitivo* (comprensión y definición de la naturaleza y el paisaje), el *componente normativo* (cuál es la relación entre el humano y el ambiente y cómo es que el hombre debería actuar hacia él) y el *componente expresivo* (qué significado emocional e intuitivo tiene el paisaje para el individuo). Según este postulado, las respuestas a esta pregunta se encuentran dentro de varios componentes, y por lo tanto se construyen desde diferentes procesos cognitivos. Lo mismo sucede con las respuestas como “amor al campo” y “satisfacción” que se obtienen al preguntar cuál es el motivo por el que les gusta sembrar, las cuales corresponden a la dimensión del *componente expresivo* de Keulartz *et al.* (2004).

El resto de los entrevistados expresaron no saber qué era (18%) y otros no poder explicarse (9%). Se cree que las últimas respuestas (al igual que la falta de respuestas sobre su opinión sobre los plaguicidas) se obtuvieron en parte por falta de seguridad de los campesinos sobre su conocimiento y no por la falta de éste. Ellos creen que lo que ellos observan y establecen sobre el ambiente puede estar mal y no contemplan la posibilidad de que únicamente sea otro paradigma y aproximación de la realidad. La manera en que se observa el paisaje puede diferir de manera significativa a través del tiempo, entre culturas y grupos culturales y entre los individuos (Seamon 1987; Wilson 1992; Eder 1996; Macnaghten y Urry 1998; Keulartz *et al.* 2004; Buijs *et al.*, 2005), y parece que ellos piensan en la academia como la última verdad. Esta posición puede nacer de la desvalorización del conocimiento tradicional mexicano contra el conocimiento occidental que se ha vivido desde tiempos de la colonia, y que conduce a la vez a la pérdida de estos conocimientos ancestrales.

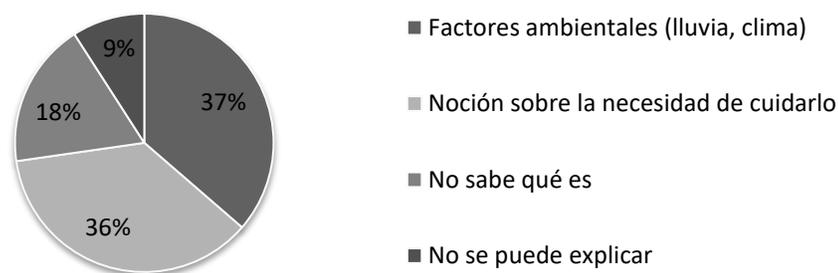


Figura 19. Respuestas obtenidas a la pregunta “¿Qué es el medio ambiente?”

Posteriormente, se pidió a los entrevistados que hablaran un poco sobre los cambios que han notado en el entorno, mencionando algunos de los rubros a tratar (agua, clima, biodiversidad y aire; Figura 20), únicamente cuando el entrevistado lo requiriera. Esto con la finalidad de no alterar las respuestas con información proveniente del entrevistador.

Se observa claramente que todos han notado cambios en las corrientes de agua. Tlazala es un poblado que utiliza el agua de los manantiales cercanos para su consumo. Actualmente se menciona que ha disminuido notablemente el caudal y también la calidad del agua se ha deteriorado.

Con relación a los patrones de lluvia, 38% indican que las lluvias se presentan de manera más intensa y por episodios más cortos que hace algunos años, un porcentaje igual establece que los patrones son irregulares, y el resto que llueve menor cantidad de agua (13%) o por menos tiempo(13%). Aquellos que no han observado cambios en la precipitación representan un 13%. La mayoría (55%) no ha observado cambios en el régimen climático, 27% mencionan al cambio climático y 18% indican que el calor ha aumentado.

Todos los entrevistados hablan sobre pérdida de biodiversidad, recuerdan observar más mamíferos medianos en el pasado que actualmente, y atribuyen esta disminución al aumento de la población humana. Entre las especies que antes se observaban con facilidad y que se menciona ya casi no se ven, están los camaleones y el ajolote (*Phrynosoma orbiculare* y *Ambystoma altamirani*). También se habla sobre pérdida de recursos vegetales que antes se encontraban de

forma silvestre con facilidad y que eran de uso humano. Este resultado remarca la percepción de la pérdida de la calidad vegetal encontrada en el estudio realizado por García-Zepeda (2015) dentro de la cuenca presa de Guadalupe, situación que se expresa en otras áreas del país (Sánchez, 2010) y que coadyuva a la problemática ambiental imperante en México.

El subsistema atmosférico (excluyendo la situación pluvial antes mencionada) es aquel en el cual se han observado menores cambios, ya que únicamente 20% de los entrevistados habla sobre una calidad del aire peor.

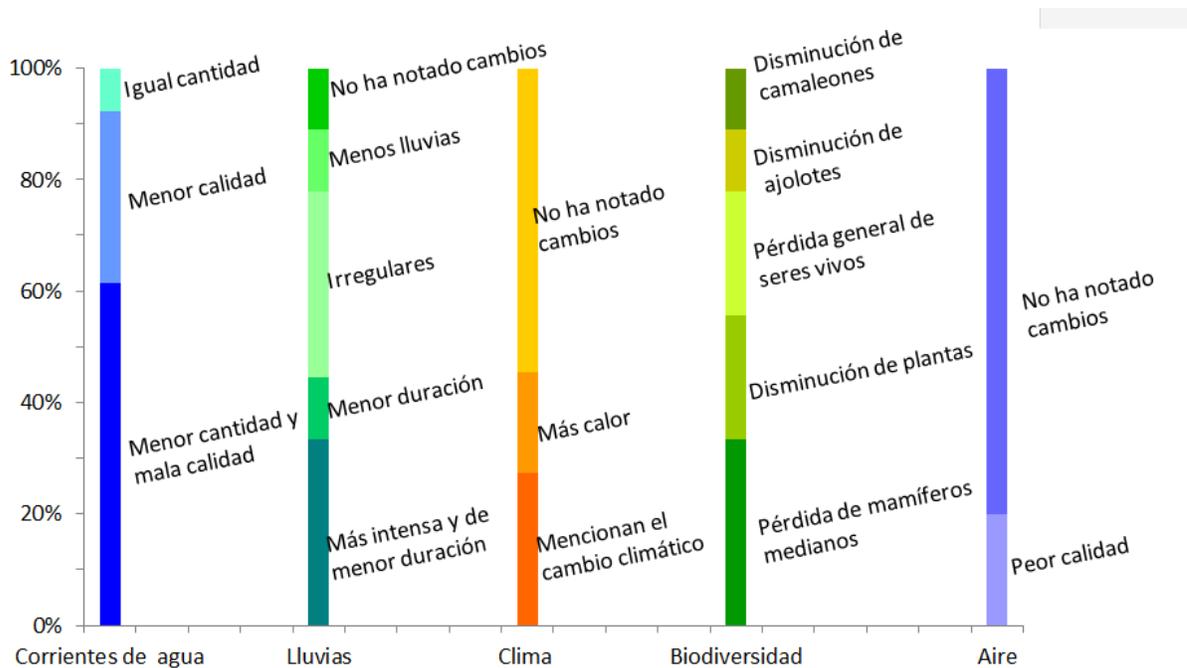


Figura 20. Cambios observados en el medio ambiente por los pobladores de Tlazala

Finalmente, se preguntó a los entrevistados cómo es que ellos consideran que su manejo agrícola afecta al ambiente. Más de la mitad (55%) considera que su manejo beneficia al ambiente, 36% cree que la relación es neutra y 9% no ve relación alguna entre su manejo y el ambiente. Ningún entrevistado consideró que su sistema de manejo afectara de forma adversa el ambiente. Entre las respuestas que se obtuvieron al preguntar por qué consideran su manejo como positivo, encontramos que “se regenera el suelo”, “no se contamina, ni quema”, “se siembran árboles”, “

las plantas son vida” y “ no se dejan crecer árboles que no dan comida”. Esta última respuesta nos permite observar que en algunos casos aún se concibe como una situación negativa o subdesarrollada la presencia de vegetación natural. Podría decirse que es una visión con tendencia antropocentrista ya que, si la vegetación no presenta un uso humano directo, se concibe como negativa. Casi la mitad de los entrevistados (45%) anula la relación entre su parcela y el entorno, lo cual nos habla de que no se tiene noción sobre que existe un impacto y relación entre sus decisiones y la salud ambiental. Vaidya y Mayer (2014) establecen que involucrar en el monitoreo ambiental a la partes interesadas ha mostrado tener resultados positivos, mejorando las prácticas agrícolas.

Se preguntó a los entrevistados qué clase de problemas observan en Tlazala: 27% respondió de tipo ambiental, 20% de tipo laboral, 20% de tipo político, 7% demográfico, 7% agrícola y 20% no observa ningún problema. Al preguntar a más detalle se indica la falta de empleo, desatención gubernamental, tala clandestina, aumento de la población, pérdida de siembra, erosión del suelo y cambio de uso de suelo. En cuanto a problemas agrícolas en Tlazala se mencionan de problemas económicos (50%), políticos (25%), ambientales (13%) y sociales (13%). Al preguntar a más detalle se obtuvieron las respuestas que se muestran en la Figura 21.



Figura 21. Respuestas obtenidas sobre cuáles son los problemas en la agricultura de Tlazala de Fabela, Estado de México.

El problema más grande que se percibe es que sembrar no resulta un negocio, no se puede vivir de eso ya que se invierte más de lo que se gana, por eso la gente tiende a sembrar únicamente para su familia. Entre los problemas percibidos se encuentra el mal uso de suelo, la falta de información sobre los cultivos adecuados, el abandono de terrenos y la pérdida de la actividad agrícola. En general, estas situaciones son generadas por la falta de divulgación sobre el manejo ambiental racional que provea alternativas, que busque ser sostenible y a la vez ser un ingreso familiar, que evite el abandono de las tierras y que reconozca los conocimientos tradicionales como saberes valiosos cultural y ambientalmente, ya que a partir de esto se promueve la identidad y con ello el *componente normativo* (cuál es la relación entre el humano y el ambiente) y el *componente expresivo* (qué significado emocional e intuitivo tiene) que empoderan a los pobladores sobre su tierra y su cultura.

Casi la totalidad de los entrevistados conocen que existen apoyos gubernamentales al campo (91%), pero 64% de ellos no reciben ningún apoyo, 18% recibe y otro 18% lo recibe ocasionalmente. Las razones por las cuales no se recibe es porque no se involucran (22%), dicen que es demasiada burocracia (22%), que es poco el apoyo (22%), que hay corrupción (11%), irregularidades (11%) y que no se apoya la producción orgánica (11%). Esto nos deja ver que la relación pobladores gobierno se encuentra deteriorada, que existe una apatía por acercarse ya que no se confía más en el la institución y que existe poca comunicación entre las partes.

El 33% de los pobladores sabe sobre la existencia de la agricultura orgánica, mientras el resto desconoce este concepto, pero a través de las encuestas se entiende que esta “agricultura orgánica” es concebida como la agricultura tradicional que era la forma en la que se sembraba en Tlazala (y en el país) antes de que se implementaran las tecnologías agrícolas. Sin embargo, la agricultura orgánica de hoy en día se encuentra ampliamente aceptada y sus fundamentos y métodos son motivo de estudios científicos en la actualidad, además de que presenta un mercado creciente (Willer y Yussefi, 2006). Los campesinos creen que puede ser una buena alternativa si es que da buenos resultados. Si se lograra equilibrar la visión de las ganancias económicas con las ganancias en potenciales servicios ecosistémicos que esta agricultura brinda a largo plazo, se generarían estrategias de manejo que satisfagan ambas demandas, siendo una pieza clave de estas labores y su difusión el apoyo gubernamental.

6.3.2 Cuestionarios a niños y jóvenes

Los cuestionarios fueron respondidos por un total de 1126 estudiantes de primaria (32%), secundaria (18%) y preparatoria (18%), de los cuales el 48% son de sexo masculino y el 52% de sexo femenino. La mayoría de los cuestionarios se respondieron antes de las 10 a.m., para esta hora 32% respondieron haber comido alimentos procesados y 23% haber comido alimentos procesados y comida casera, lo cual confirma la tendencia general sobre el consumo de alimentos procesados sobre el consumo de alimentos naturales. Situación que podría agravarse con la pérdida de las milpas familiares y el trabajo en el campo.

El 72% de los estudiantes tienen milpa familiar, la cual es trabajada principalmente por sus abuelos (23%), por personas externas a la familia (19%), por sus padres (18%), en familia (15%) y el resto no respondió (14%; Figura 22).

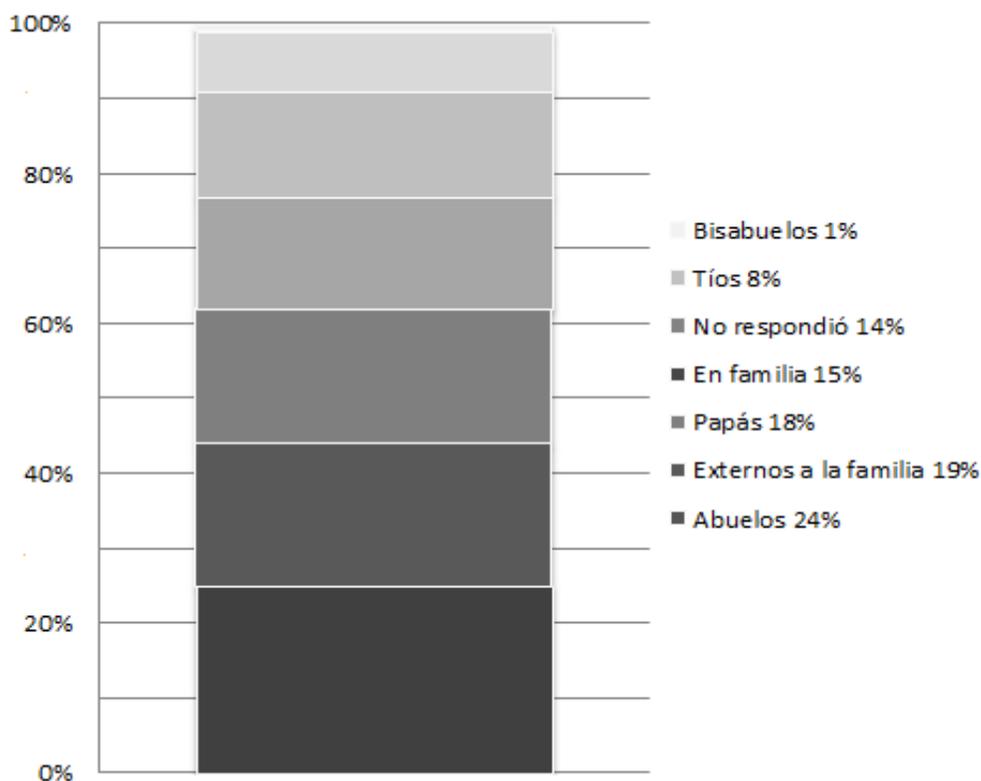


Figura 22. Personas que trabajan su milpa según encuestas a niños de Tlazala de Fabela, Estado de México.

Los niños establecen que en 70% de sus milpas se siembra maíz, en el 12% de los casos como única planta de cultivo y en el resto de los casos se combina con papa, avena, lechuga, quelites, cilantro, habas, frijol o chile. Además, en el 3% de los casos el terreno se utiliza también para árboles frutales.

La mayoría de los estudiantes considera saber sembrar (66%), 2% estiman saber sembrar a nivel intermedio y 32% reconoce no saber sembrar. Sin embargo, al 63% no les gusta sembrar, a 30% les gusta, a 4% les gusta de manera intermedia y 3% no respondió. Esto confirma lo establecido durante las encuestas realizadas a los campesinos adultos, los cuales indicaron que los jóvenes se encuentran desinteresados por la actividad. Al preguntarles por qué les gustaba sembrar (Figura 23), se obtuvieron respuestas tanto de por qué sí les gustaba y de por qué no. A estas respuestas 64% de los estudiantes respondieron de forma positiva (como si disfrutaran la actividad), 20% de forma negativa y 16% no sabe hacerlo o no respondió. Esta nueva pregunta se contrapone a la anterior (63% afirmó no gustarle sembrar y 64% reaccionó de forma positiva a la actividad). Esto nos muestra que los niños observan el sembrar de forma positiva, pero quizá no están muy familiarizados con la actividad, tienen otros intereses más fuertes, o no se sienten orgullosos de ello (quizá por una desvalorización), sin embargo se desconoce la causa de estas diferencias.

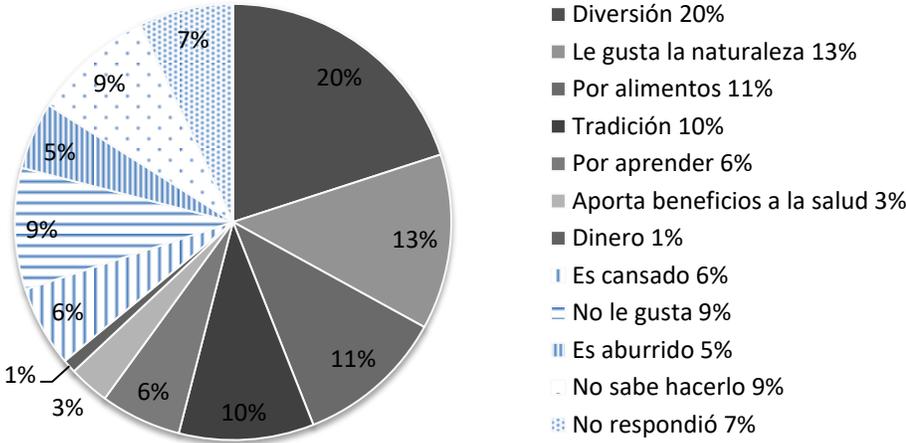


Figura 23. Respuestas de los niños a la pregunta “¿Por qué te gusta sembrar?”, el Tlazala de Fabela, Estado de México. El relleno sólido del gráfico indica respuesta positivas (64%), la trama de líneas indica respuestas negativas (20%) y la trama de puntos que no saben hacerlo o que no dieron respuesta (16%).

Como indican las encuestas, los pobladores de Tlazala aprecian la milpa mucho más allá que los alimentos, siendo estos el claro motivo de su existencia. Sin embargo, es la gente adulta quienes la trabajan de manera activa, mientras la juventud se inclina por otras actividades menos demandantes. El porcentaje de niños que no saben sembrar (9%) y que indican claramente que no les gusta (9%) es bajo, pero es preocupante que como primera respuesta (63%) hayan afirmado que no les gusta la actividad de siembra, ya que nos habla de un posible rechazo a la labor, ya sea por razones físicas o sociales.

VII. Conclusiones

7.1 Salud y calidad del suelo

- Las propiedades del suelo agrícola y forestal fueron significativamente diferentes en todos los casos excepto para las bases intercambiables.
- No se encontraron diferencias significativas entre los sistemas de manejo agrícola pero se observan tendencias de degradación en sus valores según el grado de intensidad del sistema de manejo.
- A medida que se intensifica el manejo se observa una inclinación a la disminución de la porosidad y humedad, y aumento de densidad aparente.
- Se presenta una tendencia a mayor proporción de materia orgánica en las milpas tradicionales y mayor conductividad eléctrica en las milpas intensivas.
- Las parcelas con manejo tradicional y el bosque presentaron lombrices con la misma frecuencia.
- Al comparar el suelo natural forestal con el suelo que recibió manejo agrícola podemos decir que el suelo agrícola de Tlazala se encuentra levemente deteriorado.
- Se reconoce que si se continúa con el manejo intensificado esto conducirá a un proceso de degradación más severo.

7.2 Fitoagrobiodiversidad

- Se registraron 55 especies pertenecientes a 21 familias, siendo Asteraceae, Cucurbitaceae y Fabaceae las familias mejor representadas.
- No se encontraron diferencias significativas entre tipos de manejo en los indicadores de fitoagrobiodiversidad utilizados.
- La riqueza, la diversidad y heterogeneidad fueron mayores en las milpas con manejo tradicional y menores en las intensivas, que presentan valores mayores de dominancia
- La cantidad de servicios ecosistémicos que proveen las milpas tradicionales podrían ser mayores que los que proveen las milpas intensivas.
- Todos los manejos presentan poca representatividad de especies exóticas y los índices de diversidad funcional de herbáceas (monocotiledóneas/dicotiledóneas) son bajos y relativamente parecidos entre tratamientos (promueven la presencia de polinizadores).
- Se mostraron agrupaciones ligeras en la composición vegetal de los tratamientos agrícolas.
- La conductividad eléctrica y el pH se encuentran correlacionados con la composición vegetal.
- Los manejos tradicional y medio presentan características de suelo y vegetación arvense más cercanas entre ellos que con el intensivo.
- El uso principal de las plantas arvenses encontradas fue el forrajero, seguido por el medicinal y el alimenticio.

7.3 Percepción de actores locales

- La postura que tienen los agricultores respecto al uso de plaguicidas no es clara.
- El manejo tradicional es el más frecuente en Tlazala, debido a que los productos son para auto-consumo.
- Los campesinos buscan invertir lo menos posible en insumos químicos y sustituyen esto utilizando conocimientos tradicionales sobre la fertilidad de la tierra y su manejo.
- La gente de Tlazala se siente identificada con la milpa y afirman que además de alimento, les brinda satisfacción, seguridad y bienestar, pero no reconocen ningún servicio de soporte ni de regulación.
- El impacto que el manejo de su parcela tiene a mayor escala, no es percibido, ni cómo las decisiones locales que se toman se relacionan con la salud ambiental.

- Casi todos los agricultores de Tlazala afirman que les gusta sembrar, sin embargo ya no buscan acceder al mercado debido a las bajas ganancias económicas que se obtienen del sector agrícola comparado con otras actividades.
- La actividad agrícola en este poblado es realizada por gente mayor (52 años de promedio), los cuales afirman que los jóvenes no se encuentran interesados en continuar con la tradición de la milpa, ya que se inclinan más por trabajos de menor esfuerzo físico y relacionados con la urbe.
- La mayoría de los estudiantes encuestados considera saber sembrar, pero dijeron en primera instancia que no les gusta. Al preguntarles la razón de esto, dieron razones positivas que indican que sí les gusta.
- El mal uso de suelo, la falta de información sobre los cultivos adecuados, el abandono de terrenos y la pérdida de actividad agrícola son algunos de los problemas agrícolas que se perciben en Tlazala.
- Los entrevistados mencionan al aspecto económico como problema principal, ya que consideran que los apoyos son pocos e inadecuados y el mercado desfavorable.
- Los habitantes de Tlazala han notado cambios en el ambiente desde hace aproximadamente 30 años.
- Todos los entrevistados han notado disminución de la calidad y del caudal de las corrientes de agua, y la mayoría señala cambios en los patrones pluviales y pérdida de biodiversidad.

VIII. Perspectivas

Se requiere un replanteamiento en la manera en la que se concibe el desarrollo, ya no como un sinónimo de crecimiento, sino como una dirección que conduce hacia el bienestar de los seres vivos y del planeta Tierra, ya que la diversidad social, cultural y biológica son la base del desarrollo sostenible (Parr *et al.*, 2002).

El mal uso de suelo, la falta de información sobre los cultivos adecuados, el abandono de terrenos y la pérdida de actividad agrícola son algunos de los problemas que perciben los agricultores de Tlazala, los cuales podrían reducirse y evitarse de cierto modo si los agricultores

recibieran más información y capacitación sobre el manejo agrícola y si se proporcionaran alternativas y apoyos reales al campo mexicano.

Lograr un equilibrio entre la visión de las ganancias económicas con los beneficios que proporcionan los servicios ecosistémicos potenciales que una agricultura menos intensiva brinda a largo plazo, permitiría generar estrategias de manejo que satisfagan ambas demandas, siendo una pieza clave de estas labores y su difusión el apoyo gubernamental.

Existe una situación de desconocimiento generalizado de las prácticas orgánicas (67% de los entrevistados en esta investigación), resultado de la falta de divulgación de la información. Sin embargo, el manejo tradicional practicado en el poblado de Tlazala cumple con las características de la agricultura orgánica. Este tipo de agricultura no ha sido reconocida de manera oficial en México, lo cual hace que no exista una regulación activa, que los apoyos gubernamentales sean limitados y desarticulados, y que no se cuente con un instituto específico que apoye directamente las investigaciones sobre este manejo agrícola, que capacite a los agricultores interesados y que articule los resultados de la investigación con el desarrollo práctico de estrategias de manejo (Gómez-Tovar, 2004).

Una mayor divulgación sobre alternativas de manejo agrícola y el apoyo real a este tipo de prácticas podría reactivar parcialmente el campo mexicano, representando un trabajo redituable para nuestros agricultores, mientras se preserva la salud ambiental y se promueve la salud de los consumidores.

Además, debe promoverse desde un nivel institucional la divulgación de la información sobre el uso de plaguicidas y sus efectos en la salud y el ambiente para que los agricultores tengan un conocimiento amplio sobre cuáles y cómo utilizarlos, y con ello evitar las malas prácticas agrícolas que en muchas ocasiones terminan en exposición laboral, contaminación y deterioro del medio ambiente.

En cuanto a la valoración del ambiente y la relación que tiene el humano con él, es importante promover valores que busquen respetarlo, cuidarlo y valorarlo así como fomentar la circulación del conocimiento que se tiene sobre su estado actual, sobre los impactos que ciertas

acciones humanas generan (como el consumismo excesivo, la generación irresponsable de basura, el mal manejo de los recursos) y los beneficios que un ambiente saludable implica. En el caso de Tlazala, para preservar las prácticas culturales tradicionales agrícolas es necesario que en las escuelas y en casa se restablezca el contacto con la tierra y su trabajo. Es fundamental reconocer como valiosos los conocimientos tradicionales ya que esto promueve la identidad y permite construir una relación humano-ambiente que proviene de una significación emocional más profunda, y que permite empoderar a los pobladores de su tierra y su cultura.

El monitoreo a mayor escala y el uso de indicadores de calidad más precisos son necesarios para generar una evaluación más completa que compruebe la salud ambiental que presentan las milpas de Tlazala.

IX. Literatura citada

Acton, D.F., Gregorich, L.J. (1995). *The health of our soils: Toward sustainable agriculture in Canada*. Agri. & Agri-Food, Canada, Ottawa, ON.

Aguilar, J., Illsley, C., Marielle, C. (2003). *Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos*. En Esteva, G. y Marielle, C., (coords.). Sin maíz no hay país, Conaculta, Dirección General de Culturas Populares, Museo de Culturas Populares, México.

Aksoy, M.A., Beghin, J.C. (2005). *Global Agricultural Trade and Developing Countries*. Washington DC: World Bank.

Alcamo, J., van Vuuren, D., Ringler, C., Cramer, W., Masui, T., Alder, J., Schulze, K. (2005). *Changes in nature's balance sheet: model-based estimates of future worldwide ecosystem services*. Ecology and Society 10(2): 19. URL:<http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art19/>

Alemán F. (2004). *Manual de Investigación Agronómica con énfasis en la ciencia de las malezas*. Imprimerie Artes Gráficas. Managua, Nicaragua.

Altaba, C. R. et al., 1991. *Invertebrats no artròpodes. Història Natural dels Països Catalans*, 8. Enciclopèdia Catalana, S. A., Barcelona, 598 pp. ISBN 84-7739-177-7

Altieri M.A. (1988). *The impact, uses and ecological role of weeds in agroecosystems*. In: Altieri M.A y Liebman M. (eds). Weed management in agroecosystems: Ecological approaches. CRC Press, Florida, EUA. Capítulo 1.

Altieri, M. A. (2002). *Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments*. Agriculture, Ecosystems and Environment 93(1-3):1-24. En [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)

Amador M., Escobedo J. (2004). *Distribuciones espaciales de malezas y rendimiento de maíz en labranza reducida y convencional*. Revista Fitotecnia. México. 27 (3)

Amador M., Acosta, E., Escobedo, J., Gutiérrez R. (2004). *Control de malezas con escardas y herbicidas preemergentes en frijol, en Zacatecas*. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Zacatecas. Fundación Produce Zacatecas, A.C. Folleto Científico No. 6.

Araujo C. (2003). *Non-agricultural employment growth and rural poverty reduction in Mexico during the 90s*. Working Papers, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Berkeley, pp. 1-18

Arshad, M.A., Coen, G.M. (1992). *Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria*. Am. J. Altern. Agric. 7:12-16

Asner G.P., Elmore A.J., Olander L.P., Martin R.E., Harris A.T. (2005). *Grazing systems, ecosystem responses, and global change*. Annual Review of Environment and Resources; 29:261–99

Atlas, R.C. (1984). *Use of microbial diversity measurements to assess environmental stress in Current Perspectives in Microbial Ecology*. C.J. Klug y C.A. Reddy (eds.). American Society of Microbiology, Washington, DC.

Ávila-Akerberg, V. (2010). *Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services*. Institut für Landespflege. Schriftenreihe des Instituts für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Culterra 56.

Ávila-Akerberg, V., González-Martínez, T. (2016). *Participación social y educación ambiental para la conservación. Un estudio de caso con niños y jóvenes de una zona rural periurbana*. Teoría y Praxis 19. (2016: 119-136)

Ayuntamiento Constitucional de Isidro Fabela. *Plan de Desarrollo Municipal 1997-2000*. Consultado el 22 de marzo del 2016 de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15038a.html>

Ayuntamiento de Isidro Fabela. (2014). *Tu municipio*. Consultado el 19 de abril del 2016 de: <http://isidrofabela.gob.mx/turistico/Contenido.php?seccion=2&lat=8>

Bakker, J.P., Berendse, F. (1999). *Constraints in the restoration of ecological diversity in grassland and heathland communities*. Trends Ecol. Evol. 14, 63–68.

Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J-S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., y Schmid, B. (2006). *Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services*. Ecology Letters, 9(10), 1146-1156. 10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x

Balvanera, P., Castillo, A., Martínez-Harms M.J. (2011). *Ecosystem Services in seasonally dry tropical forests*. In R. Dirzo, H.S. Young, H.A. Mooney, y G. Ceballos (eds.). *Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation*. Island Press, Washington D.C., USA.

Balvanera, P., Siddique, I., Dee, L., Paquette, A., Isbell, F., Gonzalez, A., Byrnes, J., O'Connor, M.I., Hungate, B.A., Griffin, J.N. (2014). *Linking Biodiversity and Ecosystem Services: Current Uncertainties and the Necessary Next Steps*. BioScience 64: 49–57

Bastian, O. (2013). *The role of biodiversity in supporting ecosystem services in Natura 2000 sites*. Ecol. Indic. 24,12–22.

Bayon, R., Jenkins M. (2010). *The business of biodiversity*. Nature 466:184–185. DOI 10.1038/466184a.

Belo, A.F., Simões, M.P., Pinto-Cruz, C., Castro, M.C. (2009). *Efectos de la gestión del suelo en la diversidad vegetal del olivar. (Efeitos da gestão do solo na diversidade vegetal do olival)*. En: de Sousa, E., et al. (eds.), *Herbologia e Biodiversidade numa agricultura sustentável (XII Congresso da SEMh/XIX Congresso da ALAM/II Congresso da IBCM, Lisboa, 10–13 de novembro de 2009)*, vol. 1. ISA Press, Lisbon, pp. 61–64. (en portugués con resumen en inglés).

Benayas, J.M.R., Martins, A., Nicolau, J.M., Schulz J.J. (2007). *Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences*. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 2, No. 057

Bennet, E.M, P. Balvanera .(2007). *The future of production systems in a globalized world*. Frontier in Ecology and the Environment. 5: 191-198

Beutler, A.N., Centurion, J.F., Souza Z.M., Andrioli, I., Roque, C.G. (2002). *Water retention in two oxisols under different uses*. Revista Brasileira de Ciência do Solo 26: 829-834 (en portugués, con resumen en inglés).

Bezdicsek, D.F., Papendick, R.I, Lal, R. (1996). *Importance of soil quality to Health and Sustainable Land Management*. En Doran J.W. y Jones A.J. (eds.) Methods for assessing Soil Quality. SSSA Spec. Publ. 49. SSA, Madison, WI.

Bini, D.; Santos, C.A.; Carmo, K.B.; Kishino, N.; Andrade, G.; Zangaro, W.; Nogueira, M.A. (2013). *Effects of land use on soil organic carbon and microbial processes associated with soil health in southern Brazil*. European Journal of Soil Biology 55: 117-123.

Blaikie, P., Brookfield H.(2015). *Defining and debating the problem*. En Blaikie, P. y Brookfield H.(eds.) Land Degradation and Society. 15th Edition. Routledge.NY

Boege, E. (2010). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y la agrodiversidad en los terrenos indígenas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. México.

Bot, A.J., Nachtergaele, F.O., Young, A. (2000). *Land Resource Potential and Constraints at Regional and Country Levels*. Land and Water Development Division, FAO, Rome, Italy. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsr.pdf>).

Bouma, J., Varallyay, G., Batjes, N.H. (1998) . *Principal land use changes anticipated in Europe*. Agric. Ecosyst. Environ. 67, 103–119.

Brady, N.C, Weil, R.R. (1996). *The nature and properties of soils*. Prentice Hall International Editions.

Brady, N.C, Weil, R.R. (2008). *The Nature and Properties of Soil*. 14TH edition. Pearson Prentice Hall. United States.

Brown, L.R (1981). *Building a Sustainable Society*. Worldwatch Institute Book. NY

Brussaard, L., Kuyper, T.W., Didden, W.A.M., De Goede, R.G.M., Bloem, J. (2004). *Biological soil quality. From biomass to biodiversity: importance and resilience to management stress and disturbance*. p. 139-161. En Schjonning, P., Elmholt, S., Christensen, B.T. (eds.). Managing soil quality: challenges in modern agriculture. CAB International, Wallingford, UK.

Buijs, A.E., Pedroli, B. y Luginbuhl, Y. (2005). *From hiking through farmland to farming in a leisure landscape: changing social perceptions of the European landscape*. Landscape Ecology (2006) 21:375–389

Bulluck L.R III, Brosius, M., Evanylo, G.K., Ristaino, J.B. (2002). *Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms*. Applied Soil Ecology. 19:147-160

- Buud, W. W. (2002). *What capacity the land?*. Journal of Soil Water Conservation, 47:28-31.
- Büchs, W. (2003). *Biodiversity and agri-environmental indicators—general scopes and skills with special reference to the habitat level*. En Agriculture, Ecosystems & Environment 98:35-78
- Caamal, J.A., Bernardino J. (2011). *Muestreo de Arvenses*. En Bautista F., Palacio J.L., Delfín H. (eds.). Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Segunda Edición. Univerisad Nacional Autónoma de México. México.
- Calderón-Patrón, J.M., Moreno, C.E. y Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. Revista Mexicana de Biodiversidad 83: 879-891, 2012 DOI:10.7550/rmb.25510
- Cardinale, B.J., Srivastava,D.S., Emmett, Duffy,J., Wright,J.P., Downing,A.L., Sankaran, M., Jouseau,C. (2006) . *Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems*.Nature443, 989–992.
- Cardinale, B.J. (2011). *Biodiversity improves water quality through niche partitioning*. Nature 472, 86–91.
- Cardinale, B. J., Duffy, E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D. y Naeem, S. (2012). *Biodiversity loss and its impact on humanity*. Nature. Volume: 486, Number: 7401, pp 59-67. <http://dx.doi.org/doi:10.1038/nature11148>
- Cardoso, E.J.B.N., Vasconcellos, R.L.F., Bini, D., Miyauchi, M.Y.H., dos Santos, C. A., Alves, P.R.L., de Paula A.M., Nakatani, A.S., Pereira, J.M., Nogueira, M.A. (2013). *Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?*. (Review). Scientia Agricola. V. 70. n.4. p 174-289.
- Chacón E., Gliesman, S.R. (1982). *The use of the “nonweed” concept in traditional tropical agroecosystems of southeastern Mexico*. Agroecosystems, 8(1)
- Challenger, A. y Caballero J. (1998). *Utilización y conservación de los tipos de vegetación terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. CONABIO, Instiuto de Biología-UNAM, Agrupación Sierra Madre, México.
- Chan, K.Y. (2006). *Bulk Density*. En: Lal, R. (ed.). Encyclopedia of soil Science, Florida, EVA, CRC Press.
- Chapin, III F.S., Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Osvaldo E.S., Hobbie S.E., Mack M.C., Diaz S. (2000). *Consequences of changing biodiversity*. Nature 405:234–242 DOI 10.1038/35012241.
- Chateil, C., Porcher, E. (2015). *Landscape features are a better correlate of wild plant pollination than agricultural practices in an intensive cropping system*. Agric. Ecosyst. Environ. 201, 51–57.
- Cohen, M. (ed.), (2003). *La Brousse et le Berger. Une approche interdisciplinaire de l’embroussaillage des parcours*. CNRS Editions (coll Espace et Milieux), Paris
- Cohen, M., Bilodeau, C., Alexandre, F., Godron, M., Andrieu, J., Grésillon, E., Garlatti, F., Morganti, A. (2015). *What is the plant biodiversity in a cultural landscape? A comparative, multi-scale and interdisciplinary study*

in olive groves and vineyards (Mediterranean France). Agriculture, Ecosystems and Environment 212 (2015) 175–186.

Collins, W.W., Qualset, C.O. (2000). *Biodiversity in Agroecosystems*. CRC PRESS. FL

CONABIO. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2009). Ficha Informativa. *Oxalis pes-caprae* L. Consultado el 5 de marzo del 2017 de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/oxalidaceae/oxalis-pes-caprae/fichas/ficha.htm>

Cong, R.G., Smith, H.G., Olsson, O., Brady, M. (2014) . *Managing ecosystem services for agriculture: will landscape-scale management pay?* Ecol. Econ. 99, 53–62.

Costanza, R., Norton, B.G., Haskell, B.D. (1992). *Ecosystem health: New goals for environmental management*. Island Press, Washington, DC.

Cram, S., Sommer, I., Fernández, P., Galicia, L., Ríos, C., Barois, I. (2015). *Soil Natural capital modification through landuse and cover change in a tropical forest landscape: implications for management*. Journal of Tropical Forest Science 27(2): 189-201

Cristofoli S., Piqueray J., Dufrene, M., Bizoux J.P., Mahy G. (2010). *Colonization credit in restored wet heathlands*. Restor. Ecol. 18, 645–655.

Daily, G.C. (1997). *Introduction: what are ecosystem services?* In G.C. Daily, (ed.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (pp. 1–10). Washington DC: Island Press.

Degens, B.P., Schipper, L.A., Sparling, G.P., Vojvodic-Vukovic, M. (2000). *Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities*. Soil Biology and Biochemistry 32: 189-196.

Dexter, A.R. (2004). *Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth*. Geoderma 120: 201-214.

Díaz, S., Tilman, D., Fargione, J., Chapin, F.S. III, Dirzo, R., Kitzberger, T. et al., (2005). *Biodiversity regulation of ecosystem services*. En: *Trends and Conditions* (ed. MA). Island Press, Washington, DC

Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F.S., Tilman, D. (2006). *Biodiversity loss threatens human well-being*. PLoS Biol. 4 (8), e277.

Ding, G., Novak, J.M., Amarasinghwardena, D., Hunt, P.G., Xing, B. (2002). *Soil organic matter characteristics as affected by tillage management*. Soil Science Society of America Journal., 66: 421-429.

Dominati, E., Patterson, M., Mackay, A. (2010). *A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils*. Ecological Economics 69: 1858-1868

Doran, J.W., Parkin, T.B. (1994). *Defining and Assessing soil quality*. En J.W Doran et al. (ed) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA, Madison, WI.

Doran, J.W, Parkin, T.B. (1996). *Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set*. En Doran, J.W., Jones, J.W. (eds.). *Methods for assessing soil quality*. SSSA Special Publication Number 49. Soil Science Society of America, INC. Madison, Wisconsin, USA

Doran, J.W. (2002). *Soil health and global sustainability: translating science into practice*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88 (2002) 119–127

Doran, J.W., Sarrantonio, M., Liebig, M. (1996). *Soil health and sustainability*. En D.L. Sparks (ed). *Advances in Agronomy*. Vol. 56. Academic Press, San Diego, CA.

Doran, J.W., Zeiss, M.R (2000). *Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality*. *Agronomy & Horticulture*. Faculty Publications. Paper 15.

Doran, J. W., Parkin, B. T (2006). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special publication. Number 35, Madison, Wisconsin, USA.

Douglas T., Critchley D., Park G. (1996). *The deintensification of terraced agricultural land near Treve'lez, Sierra Nevada, Spain*. *Global Ecology and Biogeography Letters* ;5:258–70

Eder, K., Ritter, M. (1996) . *The social construction of nature: A sociology of ecological enlightenment. Theory, culture & society*. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc. London

Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Bode, M., Richardson, D.M., (2009). *Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa*. *Biol. Conserv.* 142,553–562.

ENES (Escuela Nacional de Estudios Superiores)-UNAM. (s.f). *La obesidad y la sostenibilidad en México: parte 1*. Guanajuato, México. http://enes.unam.mx/?lang=es_MX&cat=sostenibilidad&pl=la-obesidad-y-la-sostenibilidad-en-mexico-parte-1

Escalante R., Catalán, H., Galindo, L. (2005). *Evolución del producto de sector agropecuario mexicano, 1960-2002: algunas regularidades empíricas*. Cuadernos Desarrollo Rural, núm. 54, pp. 87-112.

Escalante R., Catalán, H., Galindo, L., Reyes, O. (2007). *Desagrarización en México: tendencias actuales y retos hacia el futuro*. Documento de trabajo, México

Escalante, R., Catalán, H. (2008). *Situación actual del sector agropecuario en México: perspectivas y retos*. Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México. núm. 350 .

Escárzaga E. (1987). *Determinación del potencial alelopático del "nescafe" (stizolobium pruriens (L) Medic vr. Utilis Wallex Wight) sobre cinco cultivos y tres malezas*. Tesis licenciatura. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro, Querétaro, Mex.

Etchevers J., Hidalgo C., Vergara M., Bautista M., Padilla J. (2009). *Calidad del suelo: conceptos, indicadores y aplicación en agricultura*. En: López-Blanco J. y Rodríguez-Gamiño M. de L. (eds.). *Desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad en México*. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Colección Geografía para el siglo XXI. Serie de Libros de Investigación, No. 3.

Fagotti, D.S.L., Miyauchi, M.Y.H., Oliveira, A.G., Santinoni, I.A., Eberhardt, D.N., Nimtz, A., Ribeiro, R.A., Paula, A.M., Queiroz, C.A.S., Andrade, G., Zangaro, W.; Nogueira, M.A. (2012). *Gradients in N-cycling attributes along forestry and agricultural land-use systems are indicative of soil capacity for N supply*. Soil Use and Management 28: 292-298.

Fahrig, L., Girard, J., Duro, D., Pasher, J., Smith, A., Javorek, S., King, D., Freemark Lindsay, K., Mitchell, S., Tischendorf, L. (2015) . *Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity*. Agric. Ecosyst. Environ. 200, 219–234.

FAO. (2003). *State of the World's forest 2003*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. Foley JA, DeFries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, et al. *Global consequences of land use*. Science 2005; 309:570–4.

FAO - T E R R A S T A T (2003). <http://www.fao.org/ag/agl/agll/terrastat>

Farina, A. (1997). *Landscape structure and breeding bird distribution in a sub-Mediterranean agro-ecosystem*. Landsc. Ecol. 12, 365–378.

Firbank, L.G., Petit, S., Smart, S., Blain, A., Fuller, R.J., (2008) . *Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective*. Phil. Trans. R.Soc. B: Biol. Sci. 363 (1492), 777–787.

Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. (2005). *Global consequences of land use*. Science 309, 570. DOI: 10.1126/science.1111772 Science 309, 570 (2005);

Foley, J.A., N. Ramankutty, K.A. Brauman, E.S. Cassidy, J.S. Gerber, M. Johnston, N.D. Mueller, C.O`Connell, D.K Ray, P.C. West, C. Balzer, E.M. Bennett, S.R. Carpenter, J.Hill, C. Monfreda, S. Polasky, J. Rockstrom, J. Sheehan, S. Siebert, D. Tilman, Zaks, D.P.M. (2011). *Solutions for a cultivated planet*. En Nature 478.

Fried, G., Chauvel, B., Reboud, X., (2008). *Evolución de la flora adventicia de los campos cultivados en las últimas décadas: a la selección de grupos de especies que responden a los sistemas de culturas. (Évolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies: vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de cultures)*. Innov. Agron. 2008 (3), 15–26. (En francés)

Friedberg, C. (1997). *La diversidad, el orden y la unidad de la vida en el conocimiento popular.(Diversité, ordre et unité du vivant dans les savoirs populaires)*. Nat. Scie. Soc. 5 (1), 5–17. (En francés)

Fukamachi, K., Oku, H., Nakashizuka, T. (2001). *The change of a satoyama landscape and its causality in Kamiseya, Kyoto Prefecture: Japan between 1970 and 1995*. Landsc. Ecol. 16, 703–717.

Fukamachi, K., Oku, H., Miyake, A. (2005). *The relationships between the structure of paddy levees and the plant species diversity in cultural landscapes on the west side of Lake Biwa, Shiga, Japan*. Landsc. Ecol. Eng. 1, 191–199.

García, E. (1990). *“Climas de México”*, 1: 4000 000. IV.4.10 (A). Atlas Nacional de México. Vol. II. Instituto de Geografía, UNAM. México.

García-Zepeda, I. (2015). *Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de Abies religiosa de la Cuenca presa Guadalupe, Estado de México*. Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

García-Zepeda, I. , Almeida-Leñero, L., Ávila-Akerberg, V. (2016). *Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de Abies religiosa de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México*. Revista: Teoría y Praxis 2016 (19)

Garnett, T. et al. (2013). *Sustainable intensification in agriculture: premises and policies*. Science 341, 33–34

Giménez, A. M., Hernández, P., Gerez, R., Ríos, N.A. (2007). *Diversidad vegetal en siete unidades demostrativas del Chaco semiárido argentino*. México Madera y Bosques 13(1), 2007:61-78. Instituto de Ecología, A.C.

Gómez-Tovar, L. (2004). *Propuesta de Política de Apoyo para la Agricultura Orgánica de México[1] (primera parte)*. Recuperado de Revista Vinculando: http://vinculando.org/organicos/apoyo_agricultura_organica.html

Gomiero, T., Pimentel, D., Paoletti, M.G. (2011). *Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture*. Critical Reviews in Plant Sciences 30(1-2):95-124. <http://dx.doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>

González-Esquivel, C. E., Gavito, M. E., Astier, M., Cadena-Salgado, M., del-Val, E., Villamil-Echeverri, L., Merlín-Uribe, Y., Balvanera, P. (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>

Gordon, L.J., Peterson, G.D., Bennett, E.M. (2008). *Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises*. Trends in Ecology & Evolution 23, 211–219

Gray, C., Baird, D.J., Baumgartner, S., Jacob, U., Jenkins, G.B., O'Gorman, E.J., Lu, X., Ma, A., Pocock, M.J.O., Schuwirth, N., Thompson, M., Woodward, G. (2014). *Ecological networks: the missing links in biomonitoring science*. J. Appl. Ecol. 51 (5), 1444–1449.

Gregory, R. (2000). *Using stakeholder values to make smarter environmental decisions*. Environment : Science and Policy for Sustainable Development. 45(2).

De Groot, R.S, Wilson, M.A., Boumans, R.M.J. (2002). *A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services*. Ecological Economics 41 : 393–408

Grossman R.B., Harms D.S., Seybold, Herrik J.E. (2001). *Coupling use-dependent and use invariant data for soil quality evaluation in the United States*. Journal of Soil and Water Conservation 56: 63–68.

Haines-Young, R.H., Potschin, M., (2010). *The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being*. In: Raffaelli, D., Frid, C. (eds.), Ecosystem Ecology: A New Synthesis. BES Ecological Reviews Series. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 110–139

Harrison, P.A., Berry, P.M., Simpson, G., Haslett, J.R., Blicharska, M., Bucur, M., Dunford, R., Egoh, B., Garcia-Llorente, M., Geamana, N., Geertsema, W., Lommelen, E., Meiresonne, L., Turkelboom, F. (2014). *Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: a systematic review*. *Ecosyst. Serv.* 9, 191–203. Hector, A., Bagchi, R., 2007. Biodiversity and ecosystem multifunctionality.

Hart, R. (1997). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Hernández, M. (2012). *Determinación de la densidad real con picnómetro para suelos*. En: Ponce de León, C., Hernández, M., Vanegas, C. y Cram, S. (eds.). *Conceptos y procedimientos para el análisis de muestras ambientales*. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Hernández, M. (2012). *Determinación de pH y conductividad eléctrica en extractos acuosos de suelos*. En: Ponce de León, C., Hernández, M., Vanegas, C. y Cram, S. (eds.). *Conceptos y procedimientos para el análisis de muestras ambientales*. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Hillel, D. (1998). *General physical characteristics of soils*. In *Environmental Soil Physics*. Academic Press

Hobbs, R.J., Huenneke, L.F. (1992). *Disturbance, diversity and invasion: implications for conservation*. *Conserv. Biol.*, 6.

Hodson J.A., Kunin W.E., Thomas C.D., Benton T.G., Gabriel D. (2010). *Comparing organic farming and land sparing: optimising yield and butterfly populations at a landscape scale*. *Ecology Letters* 13:1358–1367 DOI 10.1111/j.1461-0248.2010.01528.x.

Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., Wardle, D.A. (2005). *Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge*. *Ecol. Monogr.* 75, 3–35.

Hooper, D.U., Adair, E.C., Cardinale, B.J., Byrnes, J.E.K., Hungate, B.A., Matulich, K.L., Gonzalez, A., Duffy, J.E., Gamfeldt, L., O'Connor, M.I. (2012). *A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change*. *Nature* 486: 105–108

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2006). *Situación actual de la división político-administrativa interestatal, Estados Unidos Mexicanos*. Aguascalientes, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2009). *Prontuario de Información Geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Isidro Fabela, México*. Clave geoestadística 15038.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Principales resultados por localidad ITER2010. México.

Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W.S., Reich, P.B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., Van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B.J., Zavaleta, E.S. y Loreau, M. (2011). *High plant diversity is needed to maintain ecosystem services*. *Nature* 477, 199–202.

Jackson, L. E., Pascual, U., Hodgkin, T. (2007). *Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121(3):196-210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.017>

Jauzein, P. (2001). *Biodiversidad en los campos cultivados: el enriquecimiento florístico. (Biodiversité des champs cultivés: l'enrichissement floristique)*. Dossiers de l'Environnement de l'INRA 21, 43–64. (En francés).

Karlen D. L., Mausbach, M. J., Doran, J.W., Cline, R. G., Harris, R. F., Schuman, G. E. (1997). *Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation* (A Guest Editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:4-10

Kaschuk, G., Alberton, O., Hungria, M. (2010) . *Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability*. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 1-13

Katayama, N., Baba, Y.G., Kusumoto, Y., Tanaka, K. (2015). *A review of post-war changes in rice farming and biodiversity in Japan*. *Agric. Syst.* 132, 73–84.

Kent, M., Coker, P. (1992). *Vegetation description and analysis. A practical approach*. - Belhaven Press, London, 363 S.

Keulartz, J., Van der Windt, H., Swart, J. (2004). *Concepts of nature as Communicative Devices: The case of Dutch Nature Policy*. *Environ. Values* 13: 81–99.

Kinzig, A., Pacala, S.W., Tilman, D. (2002). *Functional Consequences of Biodiversity: Empirical Progress, and Theoretical Extensions*. Princeton University Press, Princeton, NJ.

Kononova, M. M. (1982). *Materia orgánica del suelo: Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona: Oikos-Tau.

Korkanc, S.Y., Ozyuvaci, N., Hizal, A. (2008). *Impacts of land use conversion on soil properties and soil erodibility*. *Journal of Environmental Biology* 29: 363–370.

Kouadio, K.D., Doumbia, M., Jan, K., Dagnogo, M., Aidara, D. (2009). *Soil/litter beetle abundance and diversity along a land use gradient in tropical Africa (Oumé, Ivory Coast)*. *Sciences and Nature* 6: 139-147.

Koyanagi, T., Kusumoto, Y., Yamamoto, S., Okubo, S., Takeuchi, K. (2009). *Historical impacts on linear habitats: the present distribution of grassland species in forest-edge vegetation*. *Biol. Conserv.* 142, 1674–1684.

Kremen, C., Miles, A. (2012). *Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs*. *Ecology and Society*. 17 (4).

Lampkin, N., Measures, M. (2001). *Organic Farm Management Handbook*: Organic Farming Research Unit. Aberystwyth: Institute of Rural Studies, University of Wales.

Larson, W.E., Pierce, F.J. (1994). *The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management*. En J.W Doran et al. (ed). *Defining soil quality for sustainable environment*. SSSA Spec. Publ. 35. SSA, Madison, WI

Lazos, E., Espinosa, D. (2004). *El maíz como un bien común para las poblaciones rurales en Oaxaca*. Ponencia presentada ante el IASP, agosto, Oaxaca, México.

Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., Herzog, F., Lavorel, S., Lifran, R., Roger-Estrade, J., Sarthou, J.P., Trommetter, M. (eds.) (2008). *Agricultura y biodiversidad: valorizando las sinergias (Agriculture et Biodiversité. Valoriser les synergies)*. Expertise scientifique collective. Synthèse du rapport. INRA, Paris. (En francés)

Lee, S.Y., Primavera, J.H., Dahdouh-Guebas F., McKee K. , Bosire, J.O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., Record, S. (2014). *Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment*. Glob. Ecol. Biogeogr. 23 (7), 726–743.

Legendre, P., Borcard, D., Peres-Neto, P.R. (2005). *Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data*. Ecological Monographs 75:435-450.

León, D , Hernández, M. (2012). *Determinación del porcentaje de humedad y densidad aparente por el método del cilindro para suelos*. En: Ponce de León, C., Hernández, M., Vanegas, C. y Cram, S. (eds.). Conceptos y procedimientos para el análisis de muestras ambientales. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. UNAM. México

Liquete, C., Cid, N., Lanzanova D., Grizzetti, B., Reynaud A. (2015). *Perspectives on the link between ecosystem services and biodiversity: The assessment of the nursery function*. Ecological Indicators 63 (2016) 249–257

Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., Wardle, D.A. (2001). *Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges*. Science 294, 804–809.

Lorencová , E., Frélichová, J., Nelson, E., Vackár, D. (2013). *Past and future impacts of landuse and climate change on agricultural ecosystem services in the Czech Republic*. Landuse Policy 33: 183–194.

Lotze-Campen, H. et al., (2010). *Scenarios of global bioenergy production: the trade-offs between agricultural expansion, intensification and trade*. Ecological Modelling 221, 2188–2196 (2010).

Löfgren O. 1994. Die wahre Landschaft ist im Kopf; Landscape of the mind. Topos 6: 6–14

Maass, J.M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G.C., Mooney, H.A., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, J.V., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Ayala, R., Sarukhán, J. (2005). *Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coasts of Mexico*. Ecology and Society 10(1).

Van der Maarel, E. (1993). *Some remarks on disturbance and its relations to diversity and stability*. J. Veg. Sci. 4, 733–736.

Mace, G.M., Norris, K., Fitter, A.H. (2012). *Biodiversity and ecosystem services: a multi layered relationship*. Trends Ecol. Evol. 27, 19–26.

Macnaghten P., Urry J. (1998). *Contested Natures*. Sage publications, London

McMahon, K.W., Berumen, M.L., Thorrold, S.R. (2012). *Linking habitat mosaics and connectivity in a coral reef seascape*. Proce. Natl. Acad. Sci. 109 (38), 15372–15376

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurements*. Princeton University Press. New Jersey, USA.

Magurran, A.E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford, 256 S.

Major, J., Steiner, Ch., Ditomaso, A., Falcao, M., Lehmann J. (2005). *Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: compost, fertilizer, manure and charcoal applications*. *Weed Biology and Management* 5:69-76.

Mangialajo, L., Chiantore, M., Cattaneo-Vietti, R. (2008). *Loss of furoid algae along a gradient of urbanisation, and structure of benthic assemblages*. *Mar. Ecol. Progr.Ser.* 358, 63–74.

Martínez-Alva, G. (2015). *Propiedades bioquímicas en suelos agrícolas del Nevado de Toluca: Efectos del laboreo*. Tesis de Doctorado. Programa de doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Nacional Autónoma de México. Toluca, Estado de México, México. 92 pp.

Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., García del Amo, D., Gómez-Baggethun, E., Oteros-Rozas, E., Palacios-Agundez, I., Willaarts, B., González, J.A., Santos-Martín, F., Onaindia, M., López-Santiago, C., Montes, C. (2012). *Uncovering ecosystem service bundles through social preferences*. *PLoS One* 7(6)

Martínez, L.J., Zinck, J.A. (2004). *Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia*. *Soil and Tillage Research* 75: 3–17.

Mas, J.F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J.R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T., Pérez-Vega, A. (2004). *Assessing land use/cover changes: a nationwide multivariate spatial database for Mexico*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4):249-261

Mas, J.F., Velázquez, A., Couturier, S. (2009). *La evaluación de los cambios de cobertura/ uso del suelo en la República Mexicana*. *Investigación ambiental* 2009. 1 (1): 23-39. Instituto de Geografía- Instituto Nacional de Ecología, México.

Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. (2002). *Soil fertility and biodiversity in organic farming*. *Science* 296: 1694-1697.

McCann, E. (1997). *Environmental awareness, economic orientation, and farming practices: a comparison of organic and conventional farmers*. *Environmental Management* 21, 747–758.

Meeus, J.H.A. (1995). *Pan-European landscapes*. *Landsc. Urban Plan.* 31, 57–79.

MEA, (2005). *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis report*. Island Press, Washington DC.

Moreno, C., Zuria, I., García, M., Sánchez, G., Castellanos, I., Martínez, M., Rojas A. (2006). *Trends in the measurement of alpha diversity in the last two decades*. *Interciencia* 31.

Mostacedo, B., y Fredericksen, T. S. (2000). *Proyecto de Manejo Forestal Sostenible*. BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.

- Müller, F. , Burkhard, B. (2012). *The indicator side of ecosystem services*. *Ecosyst. Serv.* 1, 26–30.
- Müller-Wegener, U. (1988). *Interactions of humic substances with biota*. In Frimmel, F. H., Cristman, R. F. (Eds.). *Humic substances and their role in the environment*. Wiley: Chichester.
- Naeem, S., Thompson, L.J., Lawler, S.P., Lawton, J.H., Woodfin, R.M. (1994). Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368
- Nascimbene, J., Marini, L., Ivan, D., Zottini, M., (2013). *Management intensity and topography determined plant diversity in vineyards*. *PLoS One* 8 (10), e76167
- Navarrete, A., Vela, G., López, J.,Rodríguez, M.L. (2011). *Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo*. *Revista Contactos*, 80, 29-37.
- Neher, D.A, Barbercheck, M.E. (2000). *Diversity and Function of soil mesofauna*. En: Collins, W.W. y Qualset (eds.). *Biodiversity in Agroecosystems*. C.O. CRC PRESS.
- Neve, P. (2007). *Challenges for herbicide resistance evolution and management: 50 years after Harper*. *Weed Research* 47.
- NOM-021-REC-NAT-2000. Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, studio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2002.
- Nortcliff, S. (2002). *Standarisation of soil quality attributes*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88
- OECD (2015). *Obesity among adults. Non-medical determinants of health*. En *Health at a glance*. OECD Publishing. Paris, France. http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-2015/obesity-among-adults_health_glance-2015-19-en#page1
- OECD (2015). *Overweight and obesity among children. Non-medical determinants of health*. En *Health at a glance*. OECD Publishing. Paris, France. http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-2015/overweight-and-obesity-among-children_health_glance-2015-20-en#page1
- Oldeman, L.R. (1994). *The global extent of soil degradation*. En: D.J Greenland and I. Szaboles (eds.) *Soil resilience and sustainable land use*. CAB Int., Wallingford, Oxom, England
- Osawa, T., Kohyama, K., Mitsuhashi, H. (2013). *Areas of increasing agriculturalabandonment overlap the distribution of previously common, currentlythreatened plant species*. *PLoS One* 8, e79978.
- Osawa,T., Kohyama, K., Mitsuhashi, H. (2016). *Trade-off relationship between modern agriculture and biodiversity: Heavy consolidation work has a long-term negative impact on plantspecies diversity*. *Land Use Policy* 54 (2016) 78–84
- Pacini, C., Wossink, A., Giesen, G., Vazzana, C., Huirne, R. (2003). *Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95, 273–288.

- Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (1997). Biological indicators of soil health: Synthesis. En: Pankhurst, C.E., Doube, B.M, Gupta, V.V.S.R. (eds.). *Biological indicators of soil health*.
- Papendick, R.I., Parr, J.F. (1992). Soil quality. *The key to a sustainable agriculture*. Am J. Altern. Agric. 7:2-3
- Parr, J. F., Papendick, R. L., Hornick, S. B. y Meyer, R. E. (2002). Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American J. of Alternative Agriculture*, 7: 5-11.
- Parrotta J.A., Turnbull, J.W., Jones, N. (1997). *Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands*. Forest Ecology and Management. 99:1–7.
- Pascual, M., Pérez-Miñana, E., Giacomello, E. (2015). *Integrating knowledge on biodiversity and ecosystem services: Mind-mapping and Bayesian Network modelling*. Land Use Policy 54 (2016) 78–84
- Pfeiffer, E. (1942). *El semblante de la Tierra*. Integral, Nueva Seate.
- Pierzynski, G.M., Sims, J.T., Vance, G.F. (1994). *Soils and environmental quality*. Lewis Publ., CRC Press, Boca Ratón, FL.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidael, R. (2005). *Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems*. BioScience 55, 573–582.
- Plieninger, T., van der Horst, D., Schleyer, C., Bieling., C. (2014). *Sustaining ecosystem services in cultural landscapes*. Ecology and Society 19(2): 59. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06159-190259>
- PNUMA-SEMARNAT-INECC (2004). *El Suelo*. En: Cárdenas, A., Ezcurra E., Sánchez R., Zahedi, K., y Arreola, M.E. (eds.) *Perspectivas del medio ambiente en México: GEO México 2004*. En <http://centro.paot.org.mx/documentos/pnuma/GEOMexico04.pdf>
- Ponce de León, C., Hernández, M., Vanegas, C. y Cram, S. (eds.). *Conceptos y procedimientos para el análisis de muestras ambientales*. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- de Ponti, T., Rijk, B. y Van Ittersum, M.K. (2012). *The crop yield gap between organic and conventional agriculture*. Agricultural Systems 108:1–9 DOI 10.1016/j.agsy.2011.12.004.
- Porta, J., López, A. M., Roquero, L. C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa, 3ª ed. España.
- Porter, J., Costanza, R., Sigsgaard, L., Sandhu, H., Wratten, S. (2009). *The value of producing food, energy and ecosystem services within an agro-ecosystem*. Ambio 38, 186–193.
- Power, A.G. (2010). *Ecosystem Services and agriculture: tradeoffs and synergies*. Philosophical Transactions of the Royal Society B 365
- Pretty, J. (2002). *Agri-Culture: Reconnecting People, Land and Nature*. London: Earthscan.

Pretty J., Toulmin C., Williams S. (2011). *Sustainable intensification in African agriculture*. International Journal of Agricultural Sustainability 9:5–24 DOI 10.3763/ijas.2010.0583.

Quijas, S., Schmid, B., Balvanera, P. (2010). Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. Basic and Applied Ecology 11:582–593

Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G.D., Bennett, E.M. (2010). *Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes*. En Proceedings of the National Academy of Sciences 107.

Reganold, J.P., Papendick, R.I., Parr, J.F. (1990). *Sustainable agriculture*. Scientific American 262, 112–120.

Reganold J.P., Glover J.D., Andrews P.K., Hinman H.R. (2001). *Sustainability of three apple production systems*. Nature 410:926–930 DOI 10.1038/35073574.

Reid, W.V., Mooney, H.A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S.R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May, R.M., McMichael, A.J., Pingali, P., Samper, C., Scholes, R., Watson, R.T., Zakri, A.H., Shidong, Z., Ash, N.J., Bennett, E., Kumar, P., Lee, M.J., Raudsepp-Hearne, C., Simons, H., Thonell, J. and Zurek, N.B. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis report*. Washington DC: Island Press.

Reiss, J., Bridle, J.R., Montoya, J.M., Woodward, G. (2009). *Emerging horizons in biodiversity and ecosystem functioning research*. Trends Ecol. Evol. 24(9), 505–514.

Robinson, R.A., Sutherland, W.J. (2002). *Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain*. J. Appl. Ecol. 39, 157–176.

Rodríguez, G., Taylor, J. E., Yúnez-Naude, A. (1998) *The impacts of economic reforms on an ejido community: a quantitative analysis*. En Cornelius W. y D. Myhre (eds.) *The transformation of Rural Mexico: Reforming Rural Mexico*, Center for US-Mexican Studies, University of California at San Diego.

Rosales, E., Chandler, J., Senseman, S., Salinas, J. (2001). *El estado de desarrollo afecta la respuesta del zacate Johnson: Sorghum halepense (L.) Pers. a los herbicidas nicosulfuron y clethodim*. Agrociencia:35(5)

Sánchez-Colón, S., Flores Martínez, A., Cruz-Leyva, I. A., Velázquez, A. (2008). *Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. II Estudio de país*. CONABIO, México.

Sánchez, M. (2010). *Los beneficios del monte: percepción social y consumo de los servicios ecosistémicos derivados de la biodiversidad vegetal en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco*. Tesis de maestría en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Sanders, D.W. (1992). *International activities in assessing and monitoring soil degradation*. Am. J. Altern. Agric. 7:17-24

Sandhu, H.S., Wratten, S.D., Cullen, R. (2005). *Evaluating ecosystem services on farmland: a novel, experimental, 'bottom-up' approach*. In Proceedings of the 15th International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) Organic World Congress, Adelaide, Australia.

Sandhu, H.S., Wratten, S.D., Cullen, R. (2007). *From poachers to gamekeepers: perceptions of farmers towards ecosystem services on arable farmland*. International Journal of Agricultural Sustainability 5, 39–50.

- Sandhu, H., Crossman, N., Smith, F. (2012). *Ecosystem services and Australian agricultural enterprises*. *Ecological Economics* 74:19–26 DOI 10.1016/j.ecolecon.2011.12.001.
- Sandhu, H., Wratten, S. (2013). *Ecosystem services in farmland and cities*. In: Wratten S, Sandhu H, Cullen R, Costanza R, eds. *Ecosystem services in agricultural and urban landscapes*. Oxford: Wiley Blackwell, 3–19.
- Sandhu, H., Wratten, S., Costanza, R., Pretty, J., Porter, J.R., Reganold, J. (2015). *Significance and value of non-traded ecosystem services on farmland*. *PeerJ* 3:e762; DOI 10.7717/peerj.762
- Schindler, D.E., Hilborn R., Chasco, B., Boatright C.P., Quinn, T.P., Rogers, L.A., Webster, M.S. (2010). *Population diversity and the portfolio effect in an exploited species*. *Nature* 465 (7298), 609–612.
- Schläpfer, F., Pfisterer, A.B. y Schmid, B. (2005). *Non-random species extinction and plant production: implications for ecosystem functioning*. *J. Appl. Ecol.*, 42, 13-24
- Schmid, B., Balvanera, P., Cardinale, B.J., Godbold, J., Pfisterer, A.B., Raffaelli, D., Solan, M., Srivastava, D.S. (2009). *Consequences of species loss for ecosystem functioning: meta-analyses of data from biodiversity experiments*. In: Naeem, S., et al. (Eds.), *Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing. An Ecological and Economic Perspective*. Cambridge University Press, Oxford, UK.
- Schoenholtz, S.H., Vam Miegroet, H., Burger, J.A. (2000). *A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities*. *Forest Ecology and Management* 138: 335-356.
- Schutter, O.D. (2010). *Report submitted by the special rapporteur on the right to food*. United Nations General Assembly. Available at <http://www2.ohchr.org/english/issues/food/docs/A-HRC-16-49.pdf>.
- Seamon, D. (1987). *Phenomenology and environment-behavior research*. In: Ervin H. Zube and Gary T. Moore (eds), In: *Advances In Environment, Behavior and Design*. Plenum Press, New York, pp. 344
- SEDESOL. Secretaría de Desarrollo Social. (2013). *Unidad de Microrregiones*. México, D.F.
- SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001). *Inventario Nacional de Suelos*. http://148.233.168.204/suelos/invent/index_just.shtm
- SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Degradación de suelos en México. En El medio ambiente en México 2013-2014. Suelos*. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_2.html
- SEMARNAT-CP. (2003). *Memoria Nacional 2001-2002. Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000*. Memoria Nacional
- SEMARNAT-PNUMA (2004). *Perspectivas del medio ambiente en México*. GEO México 2004. México
- Selmi, S., Boulinier, T., (2003). *Breeding bird communities in southern Tunisian oases: the importance of traditional agricultural practices for bird diversity in a semi-natural system*. *Biol. Conserv.* 110, 285–294.
- Seufert, V., Ramankutty, N., Foley, J.A. (2012). *Comparing the yields of organic and conventional agriculture*. *Nature* 485:229–232 DOI 10.1038/nature11069.

Siebe, C., Jahn, R., Stahr, K., (2006). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo*. 2da edición. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Sicardi, M., García-Préchac, F., Frioni, L. (2004). *Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay*. 27(2)125–133 <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.05.004>

Sistema Nacional de Información Municipal (2010). *Estado de México: Isidro Fabela. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo municipal*. Consultado de internet en abril 19, 2016 de <http://www.snim.rami.gob.mx/>

Smith, J.L., Doran, J.M. (1996). *Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis*. In: *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication 49:169-185.

Smith, P. et al., (2008). *Greenhouse gas mitigation in agriculture*. Philosophical Transactions of The Royal Society B-Biological Sciences 363, 789–813

Sonco, R. (2013). *Estudio de Diversidad alpha y beta en tres localidades de un bosque montano en la región de Madidi, La Paz, Bolivia*. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia.

Sousa, D.M.G., Miranda, L.N., Oliveira, S.A. (2007) *Soil acidity and its correction*. En: Novais, R.F., V.H. Alvarez., N.F. Barros., R.L.F. Fontes., R.B. Cantarutti., J.C. Neves (eds.) *Fertilidade do solo = Soil fertility*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, Brazil (En Portugués).

Sørensen, T. (1948). *A method of establishing group of equal amplitude in plant sociology base don similarity in species content and application to analyses of the vegetation on danish commons*. Danske Vidensk Selsk 5(4):1-34 p.

Srivastava, D.S., Vellend, M. (2005). *Biodiversity-ecosystem function research: is it relevant to conservation?* Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst., 36, 267-294

Steinfeld, H et al. (2007). *Livestock's Long Shadow* (Food and Agriculture Organization, Rome, 2007)

Swift, M.J., Izac, A.M.N., van Noordwijk, M. (2004). *Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes – are we asking the right questions?* Agriculture, Ecosystems and Environment 104, 113–134.

Taylor, J.E., Mora, J., Adams, R., Lopez-Feldman, A. (2005). *Remittances, inequality and poverty: evidence from rural Mexico*. Working Paper No. 05- 003, University of California

TEEB. (2015). *The Economics of Ecosystems & Biodiversity: Ecosystem Services*. Hosted by UNEP TEEB office, Geneva, Switzerland. URL: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>. Last accessed May 2015.

Ter Braak C. (1986). *Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis*. Ecology. 67:1167-1179.

Termorshuizen, J.W., Opdam, P. (2009). *Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development*. *Landscape Ecol* (2009) 24: 1037. doi:10.1007/s10980-008-9314-8

Tilman, D. (1996). *Biodiversity: population versus ecosystem stability*. *Ecology* 77 (2), 350–363.

Tilman, D., Cassman, G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). *Agricultural sustainability and intensive production practices*. *Nature* 418, 671–677.

Tilman D., Reich, P.B., Isbell, F. (2012). *Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance, or herbivory*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 10394–10397.

Toledo, V.M., y Ordoñez, M. (1993). *The Biodiversity Scenario of Mexico. A Review of Terrestrial Habitats*. En: Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (eds.), *Biological Diversity of Mexico. Origin and Distribution*, Oxford University Press, Nueva York.

Toledo, V.M., Alarcón-Chaires, A., Moguel, P., Olivo, M., Cabrera, A., Leyequien, E. y Rodríguez-Aldabe, A. (2001). *El Atlas Etnoecológico de México y Centroamérica: Fundamentos, Métodos y Resultados*. En *Etnoecología*, vol.6, num. 8, pp 7-41

Torok, P., Vida, E., Deak, B., Lengyel, S., Tothmeresz, B. (2011). *Grassland restoration on former croplands in Europe: an assessment of applicability of techniques and costs*. *Biodivers. Conserv.* 20, 2311–2332.

Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., Thies, Takatsuka, C., Cullen, Y., Wilson, R. M., Wratten, S. (2005). *Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management*. *Ecology Letters*, 8: 857–874

Turnhout, E., Hisschemöller, M., Eijsackers, H. (2004). *The role of views of nature in Dutch nature conservation: The case of the creation of a drift sand area in the Hoge Veluwe national park*. *Environ. Values* 13: 187–198.

Tylianakis J.M. (2013). *Pollination decline in context—response*. *Science* 340:924–925. DOI 10.1126/science.340.6135.924-a.

Uematsu, Y., Koga, T., Mitsuhashi, H., Ushimaru, A. (2009). *Abandonment and intensified use of agricultural land decrease habitats of rare herbs in semi-natural grasslands*. *Agric. Ecosyst. Environ.* 135, 304–309.

UK NEA.(2010). *UK National Ecosystem Assessment. Preliminary Synthesis and Progress Report on Status and Trends*. UK

United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. USDA. (2008). Bulk density. Soil quality indicator sheets.

United States Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service. USDA. (2015). Chemical Indicators and Soil functions.

United States Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service. USDA. (2011). Soil Electrical Conductivity. Soil quality indicator sheets.

United States Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service. USDA. (2015). Soil quality indicators. Biological indicators and soil functions. Consultado del 8 de marzo del 2017 de <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387>.

United States Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service. USDA. (2017). Soil Survey. Soil Texture Calculator. Consultado el 27 de febrero del 2017 de https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167.

Vaidya, A., Mayer, A. L. (2014). *Use of the participatory approach to develop sustainability assessments for natural resource management*. International Journal of Sustainable Development and World Ecology 21(4):369-379. <http://dx.doi.org/10.1080/13504509.2013.868376>

Villegas-Martínez, D. (2015). *Turismo rural como estrategia de desarrollo local en Isidro Fabela y la region Monte Alto, Estado de México*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.

Vitousek P.M., Naylor R., Crews T., David M.B., Drinkwater L.E., Holland E., Johnes P.J., Katzenberger J., Martinelli L.A., Matson P.A., Nziguheba G., Ojima D., Palm C.A., Robertson G.P., Sanchez P.A., Townsend A.R., Zhang F.S. (2009). *Nutrient imbalances in agricultural development*. Science 324:1519–1520 DOI 10.1126/science.1170261.

Wachter J.M., Reganold J.P. (2014). *Organic agricultural production: plants*. In: Van Alfen NK, ed. Encyclopedia of agriculture and food systems, vol. 4. San Diego: Elsevier, 265–286.

Walters, B.B., Rönnbäck, P., Kovacs, J.M., Crona, B., Hussain, S.A., Badola, R., Primavera, J.H., Barbier, E., Dahdouh-Guebas, F., (2008). *Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: a review*. Aquat. Bot. 89(2), 220-236

Whittaker, R.H. (1977). *Evolution of species diversity in land communities*. In: Hecht, M.K., Steere, W.C., Wallace, B. (eds.) Evolutionary biology. Plenum, New York.

Willer, H., Yussefi, M. (2006). Organic Farming Worldwide 2007: Overview & Main Statistics.

Wilson, A. (1992). *The Culture of Nature*. Blackwell, Cambridge.

Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N., Duffy, J.E., Folke, C., Halpern, B.S., Jackson, J.B.C., Lotze, H.K., Micheli, F., Palumbi, S.R., Sala, E., Selkoe, K.A., Stachowicz, J.J., Watson, R. (2006). *Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services*. Science 314

WRB IUSS Grupo de Trabajo. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

Yaalon, D. (2007). *Human-induced ecosystem and landscape processes always involve soil change*. BioScience 57: 918–919.

van Zanten, B.T., Verburg, P.H., Espinosa, M., Gómez-y-Paloma, S., Galimberti, G., Kantelhardt, J., Kapfer, M., Lefebvre, M., Manrique, R., Pierr, A., Raggi, M., Schaller, L., Targetti, S., Zasada, I., Viaggi, D. (2014). *European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: a review*. Agron. Sustain. Dev. 34: 309. doi:10.1007/s13593-013-0183-4

Zavalloni, M., Groeneveld, R.A., van Zwieten, P.A., (2014). *The role of spatial information in the preservation of the shrimp nursery function of mangroves: a spatiallyexplicit bio-economic model for the assessment of land use trade-offs*. J. Environ.Manage. 143, 17–25.

Zechmeister, H.G., Schmitzberger, I., Steurer, B., Peterseil, J., Wrбка, T. (2003). *The influence of land-use practices and economics on plant species richness in meadows*. Biol. Conserv. 114 (2), 165–177.

Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K., Swinton, S.M. (2007). *Ecosystems services and dis-services to agricultura*. Ecological Economics. 64(2)

Zimmermann, B., Papritz, A., Elsenbeer, H. (2010). *Asymetric response to disturbance and recovery: Changes of soil permeability under forest-pasture-forest transitions*. Geoderma 159: 209-215

X. Anexos

1. Entrevista a agricultores

Entrevista de Percepción a agricultores de Tlazala, Edo. Mexico

Abril 2016.

Responsable(s) de entrevista _____

Nombre del entrevistado (a) _____ Edad _____ Ocupación _____

Ubicación de tierras _____ Tamaño _____

Historia del terreno _____

¿Cultivo de temporal o riego? Si es riego, de dónde sale el agua? _____

¿Cómo se obtiene el agua? _____ ¿Es difícil acceder a ella? _____

Cambios en el agua en los últimos años (Calidad, abundancia, acceso) _____

Cultivo (s) _____ ¿Le gusta sembrar? ¿Por qué? _____

¿Por qué siembra o por qué ya no lo hace? _____

¿Qué beneficios obtiene de sus tierras? _____

¿Cómo/Dónde/Con quién aprendió sobre el manejo de la tierra? _____

¿Cómo se prepara la tierra? _____

¿Por qué se hace así? (tradición, costumbre, eficiencia) _____

¿Por qué aprendió? _____ ¿Por qué se hace o no hoy en día? _____

¿Uso de abono, urea o lama? _____ ¿Cuál/es? _____

¿Uso de plaguicidas ? _____ ¿Cuál/es? _____

¿Uso de herbicidas? ¿Cuál/es? _____ ¿Cuál es su rendimiento? _____

Rotación _____ Descanso de tierra _____ ¿La cosecha es para venta o consumo personal? _____

¿Cuántas personas se benefician de la cosecha? _____ ¿Cómo ve la relación jóvenes/niños-tierra? _____

¿Para usted, que es el medio ambiente? _____

¿Cree que su tierra beneficia o perjudica al medio ambiente? _____ ¿De qué forma? _____

¿Ha observado cambios en el agua, tierra, aire, lluvia, plantas, animales que recuerde? ¿Cuáles? _____

¿Qué problemas se observa en Tlazala? _____ ¿Que problema observa en la agricultura de Tlazala? _____ ¿Apoyos locales o de gobierno? ¿Cual? _____

2. Flora de Tlazala de Fabela, Estado de México

Oyamel (*Abies religiosa*), pino (*Pinus hartwegii*), ocote (*Pinus montezumae*), madroño (*Arbutus xalapensis*), encino, cedro (*Cedrus sp.*), álamo (*Populus fremontii*), pirul (*Schinus molle*), sauce (*Salix sp.*), chichicaule y fresno (*Fraxinus sp.*), manzano (*Malus pumila Mill.*), capulín (*Prunus salicifolia*), durazno (*Prunus persica L.*), ciruelo (*Spondias sp.*), tejocote (*Crataegus mexicana*), pera (*Pyrus communis L.*), higuera (*Ficus carica L.*), aguacate y chabacano (*Prunus sp.*). Entre las hierbas comunes y principales están: ajenjo (*Artemisia absinthium*), simonillo, (*Conyza sp.*), istafiate (*Artemisia ludoviciana*), hierbabuena (*Mentha sp.*), manzanilla (*Galinsoga parviflora*), gordolobo (*Verbascum thapsus*), hinojo (*Foeniculum sp.*), ruda (*Ruta graveolens*), romero (*Rosmarinus officinalis*), toronjil (*Melissa officinalis*), tabaquillo (*Critonia quadrangularis*), peshtó (*Eupatorium petiolare*), chilacayote (*Cucurbita ficifolia*), chayote (*Sechium sp.*), calabaza (*Cucurbita sp.*), orégano (*Lippia graveolens*), perejil (*Conium sp.*), apio (*Apium sp.*), cilantro (*Coriandrum sativum*)

L.), tomillo (*Thymus* sp.), borraja (*Borago officinalis*) y epazote (*Telexys ambrosioides* (L.) Weber). Abundan las flores de ornato y entre ellas se distinguen: bugambilia (*Bougainvillea* sp.), heliotropo (*Heliotropium europaeum*), dalia (*Dahlia coccinea* Cav.), rosa (*Rosaceae* sp.), floripondio (*Brugamsia* sp.), crisantemo (*Chrysanthemum* sp.), nomeolvides (*Myosotis* sp.), pajarito, malva (*Malvaceae parviflora* L.) y madreelva (*Lonicera* sp.)