

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN SUELOS



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE

PRÁCTICAS DE MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL SISTEMA
AGROFORESTAL TRADICIONAL MILPA-CHICHIPERA

TESIS

Requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE



Presenta:

GARCÍA LICONA JOSÉ BERNARDO

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, EDO. DE MÉXICO.

JUNIO, 2014



**PRÁCTICAS DE MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL
SISTEMA AGROFORESTAL TRADICIONAL MILPA-CHICHIPERA**

Tesis realizada por: **JOSÉ BERNARDO GARCÍA LICONA** bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO

SOSTENIBLE

Director: _____

Dr. Ranferi Maldonado Torres

Codirectora: _____

Dra. Ana Isabel Moreno Calles

Asesora: _____

Dra. María Edna Álvarez Sánchez

DEDICATORIA

Para todos aquellos que tienen el coraje de estar solos y la valentía de arriesgarse a estar juntos. Para los que se atreven a ser desobedientes cada vez que reciben órdenes que humillan nuestra conciencia o violan nuestro sentido común. Ojalá algún día podamos merecer que nos llamen locos.

Tomado de: Los caminos del viento de Eduardo Galeano

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y a la Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible (MADS) por haber aportado en mi formación profesional.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios en la MADS.

A la Coordinación de Posgrado UACH por apoyarme económicamente para la presentación de mi investigación en el IX Congreso Mexicano de Etnobiología.

Investigación realizada gracias al “Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica” (PAPIIT) de la UNAM PAPIIT IA203213-2 “Caracterización de Sistemas Agroforestales Tradicionales desde un enfoque biocultural”.

A la Dra. Ana Isabel Moreno Calles por haberme dado la oportunidad y confianza de continuar el trabajo de investigación sobre los sistemas agroforestales milpa-chichipera. De igual forma por su paciencia, apoyo y asesorías durante el proceso de elaboración de la tesis.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres y a la Dra. María Edna Álvarez Sánchez por sus consejos, enseñanzas y asesorías para que esta tesis se llevará a cabo de la mejor forma posible.

A toda la familia Ortega de San Luis Atlotitlán por haberme recibido con tanta amabilidad, hospitalidad y apoyo durante mis visitas. En especial a Lencho, Marí y al pequeño David por guiarme y ayudarme en el trabajo de campo.

A mi amá María Esther Licona Fernandez por su constante interés y apoyo para que no dejara de trabajar en la tesis.

A Barbara Tello por sus consejos y ayuda en la redacción de la tesis.

DATOS BIOGRÁFICOS

José Bernardo García Licona nació el 26 de diciembre de 1983, en el Distrito Federal de México. Cursó toda su educación hasta la universidad en la ciudad de Puebla. En el 2005 ingresó a la carrera de Biología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, donde el final de su formación académica la encaminó a temas relacionados a la ecología vegetal. En el 2010 con su tesis de licenciatura tuvo la oportunidad de ser ponente en el III Congreso de Ecología, con el tema la estructura y composición de la vegetación leñosa de selvas en diferentes estadios sucesionales en el ejido del Carmen II, Calakmul, México; el cual fue publicado en el 2014 en la revista polibotánica. Durante el 2011 trabajó como técnico en un proyecto de investigación realizado en el Valle de Tehuacán, Puebla, el cual culminó en el 2014 con la publicación del artículo “The relative importance of solar radiation and soil origin in cactus seedling survivorship at two spatial scales: plant association and microhabitat, en el journal of vegetation science”.

Para el 2012 se incorporó a la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sustentable en la Universidad Autónoma de Chapingo, y en el 2014 fue ponente en el IX Congreso Mexicano de Etnobiología con su tesis de maestría “Prácticas de manejo de la fertilidad del suelo en el sistema agroforestal tradicional milpa-chichipera”.

Prácticas de manejo de la fertilidad del suelo en el sistema agroforestal tradicional milpa-chichipera

Soil fertility's management practices in the traditional agroforestry system milpa-chichipera

García-Licona J. B., Maldonado-Torres R. y Moreno-Calles A. I.

Resumen

En la porción semiárida del Valle de Tehuacán está el sistema agroforestal tradicional (SAFT) milpa-chichipera, el cual es un indispensable proveedor de bienes y servicios para los habitantes, sin embargo sus prácticas están cambiando. Los agricultores SAFT de zonas secas dependen de descansos, aporte de materia orgánica y abonos para restablecer la fertilidad del suelo. Por ello se comparan las prácticas de manejo y su impacto en la fertilidad del suelo en las parcelas del SAFT milpa-chichipera. En San Luis Atlotitlán, Puebla, se aplicaron 30 entrevistas a los ejidatarios sobre el manejo de la parcela. A 20 parcelas se calculó su cobertura vegetal y se les realizó un análisis fisicoquímico de suelo. Se realizó un análisis de componentes principales (CP) a los parámetros de fertilidad, y un análisis de correlación entre los CP y las prácticas de manejo. El 43% de los agricultores utiliza abonos de forma insuficiente y sin ningún manejo. El 27% deja descansar el suelo de uno a dos años, los cuales no permiten restablecer la fertilidad. El 33% depende de la fertilidad natural del suelo. El 90% de las parcelas tienen una cobertura vegetal alta (>25%), la cual tiene la capacidad de incrementar la fertilidad. La fertilidad del suelo es buena, sólo presentan deficiencias en N-i, Fe, Cu y Zn. Cinco CP explican el 77% de la variación total de los datos de fertilidad, donde el Mg del cuarto CP está con el valor más alto (-0.71). Aún así no hubo ninguna correlación significativa entre los CP y las prácticas de manejo. El uso de abono y los descansos son llevadas a cabo de forma irregular e insuficiente. La cobertura vegetal es alta y es importante para restaurar la fertilidad. Cada práctica no explica ningún cambio en algún parámetro de la fertilidad.

Palabras clave: prácticas de manejo, zonas áridas y fertilidad del suelo agrícola.

Abstract

In the semiarid region of Tehuacan Valley there is a traditional agroforestry system (TAFS) milpa-chichipera which is an elemental provider of goods and services. Nonetheless, its practices are changing. The dryland TAFS peasants in order to maintain soil's fertility depend on fallows, organic matter and manure. Therefore, our study aimed at contrasting management practices and their impact on soil's fertility in the TAFS milpa-chichipera. In San Luis Atlotitlán, Puebla, 30 peasants were interviewed about soil's fertility management. The vegetation cover of 20 parcels was calculated and a physical chemistry analysis was applied to the soil. A principal component (PC) analysis was realized on fertility's parameters, and a correlation analysis between the PCs and the management practices. 43% of the peasants used manure scarcely and without management. 27% let the land lie fallow for one to two years, which are insufficient to recuperate soil's fertility. 33% of the peasants depend on natural soil's fertility. 90% of parcels have a high vegetation (>25%), which is capable of increasing fertility. Soil's fertility it's in a good level, only exist N-i, Fe, Cu y Zn deficiencies. Five PC explain 77% of fertility's data total variation, where Mg of the fourth PC is the highest value (-0.71). Even so, there is no significant correlation between PCs and management practices. Manure use and fallows are realized in an irregular and scarcely way. Vegetation is high and it is important for restoring soil's fertility. Each practice does not explain the changes in any of the fertility's parameters.

Keywords: management practices, dryland and soil's fertility.

CONTENIDO

1. Introducción.....	4
2. Revisión de Literatura	7
2.1 Fundamentos de los sistemas agrícolas en zonas secas.....	7
2.2 Sistemas agroforestales tradicionales	8
2.3 Agricultura en el Valle de Tehuacán	11
2.3.1 Sistema agroforestal tradicional milpa-chichipera.....	13
2.4 Prácticas de manejo de la fertilidad del suelo en zonas secas	15
2.5 Efecto de la prácticas de manejo en la fertilidad del suelo.....	16
2.6 Interacciones árboles-cultivo.....	19
3. Objetivo	22
4. Materiales y Métodos	23
4.1 Sitio de estudio	23
4.2 Entrevista sobre el manejo de la fertilidad del suelo.....	24
4.3 Determinación de las prácticas de manejo en las parcelas	25
4.4 Método de muestreo y análisis físico-químico del suelo.....	26
4.5 Comparacion entre las prácticas de manejo.....	28
5. Resultados y Discusión.....	29
5.1 Historia de la parcela	29
5.2 Manejo de la parcela.....	31
5.3 Descansos del área de cultivo.....	35
5.4 Fertilidad del suelo y prácticas de manejo en las parcelas	36
5.5 Comparación de las prácticas de manejo del suelo	40
5.6 Discusión	42
6. Conclusiones.....	49
7. Literatura citada.....	50
8. Anexo	61
8.1 Anexo 1. Guía de entrevista de las practicas agrícolas y agroforestales	61

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Prácticas agroforestales del SAFT milpa-chichipera	14
Cuadro 2. Procesos de interacción árbol-suelo-cultivo en sistemas agroforestales tropicales	20
Cuadro 3. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo	27
Cuadro 4. Plantas encontradas en la apertura de la parcela y presentes en la actualidad	30
Cuadro 5. Distribución del ganado para su alimentación	33
Cuadro 6. Obtención y aplicación de abonos por los ejidatarios	34
Cuadro 7. Fertilidad del suelo y prácticas de manejo en las parcelas SAFT milpa-chichipera	37
Cuadro 8. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros de fertilidad del suelo	38
Cuadro 9. Porcentaje de parcelas clasificadas por su nivel de fertilidad	39
Cuadro 10. Porcentaje de variación de los componentes	40
Cuadro 11. Matriz de los 5 componentes principales y los parámetros de fertilidad del suelo	41
Cuadro 12. Análisis de correlación entre las prácticas de manejo y los componentes principales	42
Cuadro 13. Fertilidad del suelo agrícola en regiones áridas de México	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de San Luis Atolotitlán	23
Figura 2. Configuración en la parcela del área de cultivo y la vegetación	30
Cuadro 3. Calendarios de la presencia del ganado en la parcela SAFT milpa-chichipera ...	32

I. INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas abarcan cerca del 60% de la superficie total del territorio nacional y se caracterizan por la baja fertilidad del suelo, rápidas tasas de descomposición de materia orgánica, y precipitaciones muy bajas y variables (Rzedowski, 1993; Breman y Kessler, 1997). El Valle de Tehuacán-Cuicatlán se caracteriza por ser una región árida con gran biodiversidad y una de las zonas del país con el mayor número de especies de plantas utilizadas por el hombre (Dávila *et al.*, 2002; Valiente-Banuet *et al.*, 2006; Blancas *et al.*, 2010). Desde la creación de la reserva de Tehuacán-Cuicatlán en 1998 se ha investigado la relevancia del manejo y conservación de la biodiversidad que existe en la región (Casas *et al.*, 2001; Dávila *et al.*, 2002; Blancas *et al.*, 2010). En contraste, también se ha detectado un deterioro ambiental, productivo y social, creado por la división de parcelas, la sobreexplotación de recursos, la migración, etc. (Valiente-Banuet *et al.*, 2006; Casas *et al.*, 2008).

En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se presenta el sistema agroforestal tradicional (SAFT) milpa-chichipera, que es la interacción del policultivo maíz, frijol y calabaza, con la vegetación dominada por *Polaskia chichipe* (Rol.-Goss.) Backeb y *P. chende* (Rol.-Goss.) A.C.Gibson & K.E.Horak (Casas *et al.*, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2010; Moreno-Calles *et al.*, 2012). Este sistema es un esencial proveedor de bienes y servicios en San Luis Atlotitlán, Puebla, tan sólo para la subsistencia familiar aporta el 75% de maíz de grano para alimento, 50% de maíz para forraje, 80% de la leña y 100% de las hierbas comestibles (Moreno-Calles *et al.*, 2012). Además, sus diferentes prácticas agroforestales determinan distintas cantidades de cobertura vegetal, donde

las parcelas con mediana y baja cobertura pueden generar bienes que se traducen en recursos económicos que superan a los de un monocultivo de maíz (Moreno-Calles *et al.*, 2012). A pesar de su importancia dicho sistema milpa-chichipera se está transformando debido a la disminución de especies y prácticas agroforestales, a la pérdida del conocimiento o abandono de prácticas y por la intesificación de la agricultura (Moreno-Calles *et al.*, 2013).

La agricultura en regiones áridas y semiáridas depende principalmente del descanso de las áreas de cultivo y de la aplicación de abonos para restablecer la fertilidad del suelo (Williams, 1999; Anaya y Caballero, 2000; Harris, 2002). Además el uso de fertilizante químicos es muy escaso debido a los altos costos y a la dificultad para conseguirlos (Williams, 1999; Harris, 2002). En zonas secas de México, la fertilidad del suelo de los SAFT como el huamil, el oasis y la agricultura de escurrimiento, dependen de prácticas de retención de materia orgánica, aporte de hojarasca por parte de la vegetación y aplicación de abonos y rastrojo de maíz, respectivamente (Maya *et al.*, 1997; Granados-Sanchez *et al.*, 2004; Moreno-Calles *et al.* 2013; Palerm 1997). Para el Valle de Tehuacán las prácticas agroforestales aunado al uso de abonos y hojarasca permiten conservar y recuperar la fertilidad (Anaya y Caballero, 2000; Moreno-Calles y Casas, 2010; Moreno-Calles *et al.*, 2012).

En la presente investigación del SAFT milpa-chichipera se evaluaron las estrategias de manejo y su relación con fertilidad del suelo, ya que información de este tipo en los SAFT de zonas áridas en México es escasa. Este estudio permite continuar

generando conocimiento para un mejor entendimiento del SAFT milpa-chichipera, que se traduzca en mejores prácticas para el manejo de la fertilidad del suelo y de los recursos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Fundamentos de los sistemas agrícolas en zonas secas

Las regiones secas (áridas, semiáridas y subhúmedas) están generalmente caracterizadas por suelos de baja fertilidad y susceptibles a erosión, rápida descomposición de la materia orgánica y altas tasas de evapotranspiración (Van Keulen y Breman, 1990; Breman y Kessler, 1997; Reynolds *et al.*, 2005). Donde la degradación de uno o más de sus recursos (suelo, vegetación, agua, etc.) provocan cambios temporales o permanentes en la capacidad productiva del suelo (Stocking y Murnaghan, 2001; Reynolds *et al.*, 2005). Por ello y por las situaciones económicas y sociopolíticas de estas regiones se considera al desarrollo de las actividades agropecuarias como arriesgadas (Parr *et al.*, 1990; Jock y Dilon 1992; Koohafkan y Stewart, 2008).

Desde 1960 hasta la fecha se ha investigado acerca de la agroforestería, aún así el conocimiento científico generado es escaso y su incorporación o consideración como alternativa a la agricultura moderna ha sido reciente (Nair, 1993; Ncube, 2007). Dicho sistema productivo se ha considerado como una propuesta ideal para zonas secas donde el uso de insumos externos es limitado (Breman y Kessler, 1997), a pesar de ello las prácticas introducidas a los campesinos han tenido resultados favorables como desfavorables para la productividad agrícola (Sanchez, 1995; Ong y Huxley, 1996; Jama y Zeila, 2005).

La agricultura moderna la cual se caracteriza por recomendaciones tecnológicas y pocas interacciones ecológicas, ha ignorado la heterogeneidad ambiental, cultural y socioeconómica de las comunidades (Altieri, 1991; 2004; Altieri y Nicholls, 2005). En cambio con el conocimiento acumulado de los agroecosistemas tradicionales que se basan en tecnología locales, diversificación de cultivos e insumos mínimos, se tienen sistemas productivos que han permitido la autosuficiencia de la gente desde hace cientos de años (Toledo *et al.*, 2003; Altieri, 2004; Altieri y Nicholls, 2005). Además permite el aprovechamiento de tierras que se consideran improductivas y minimiza los riesgos o amortigua los cambios naturales y antropogénicos al conservar recursos locales como el agua, el suelo y la biodiversidad (Palerm, 1997; Altieri, 2004). Recientemente la producción agrícola tradicional se ha reconocido como prácticas sofisticadas y apropiadas, gracias a que se han profundizado en la investigación en tales sistemas (Altieri, 1991; Toledo *et al.*, 2003). Entonces este tipo de agricultura no debe quedar más relegada por el gobierno y los investigadores, en cambio se necesita generar modelos de agricultura sustentable a partir de los conocimientos tradicionales y científicos (Altieri, 1991; Palerm, 1997; Altieri, 2005;).

2.2 Sistemas agroforestales tradicionales (SAFT)

Los sistemas agrícolas tradicionales son saberes y conocimientos que se traducen en formas de producción de alimento antiguas y modernas que han permitido la subsistencia del productor y su familia (Pretty, 1995; Toledo *et al.*, 2003; Toledo y Barrera, 2008). Se caracterizan por la diversidad de cultivos, el uso de muy bajos insumos externos, el gran trabajo manual, el uso de tecnologías adaptadas al lugar y

la conservación de recursos locales (Pretty, 1995; Altieri, 1999; Altieri y Nicholls, 2005). Entonces los SAFT se definen como un conjunto de prácticas pasadas y presentes donde los componentes perennes o leñosos y silvestres crecen en asociación con elementos agrícolas y/o animales con un cierto arreglo espacial o temporal (Nair, 1993; Young, 1997; Moreno-Calles *et al.* 2013).

Moreno-Calles *et al.* (2013) clasificaron a los SAFT en México de acuerdo a la ubicación geográfica, la intensidad de manejo, el contexto ambiental y el contexto biocultural. En dicha clasificación se encuentran los SAFT de parcela y de casa de mediana intensidad y de alta intensidad, desarrollados en zonas áridas y semiáridas, manejados por grupos mestizos y rancheros. Donde se incluyen a los sistemas milpactáceas columnares en el Valle de Tehuacán en Puebla y Oaxaca, el *huamil* en Guanajuato, el secano en el Valle de Mezquital en Hidalgo y los oasis de Baja California Sur.

El *huamil* significa plantío de maíz labrado con palo afilado y representa un conjunto de técnicas, prácticas y conocimientos que fueron adoptadas en ciertos lugares del Bajío mexicano (Palerm, 1997). En el Valle de Santiago en Guanajuato el *huamil* consiste en seleccionar el área de cultivo en cerros que no tengan mucha pedregosidad o inclinación. Para luego retirar las piedras y la vegetación indeseada, lo que implica tolerar y proteger especies como garambullos (*Myrtillocactus geometrizans* Console), nopales (*Opuntia spp.*), pitayas (*Stenocereus queretaroensis* (F.A.C. Weber) Buxb.) y mezquites (*Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.)

M.C.Johnst) debido a los bienes y servicios que ofrecen (Colunga-García *et al.*, 1984; Palerm, 1997). Al final se construyen terrazas, bancales y retenes para disminuir la erosión y permitir mejores condiciones para el cultivo de distintas variedades de maíz, frijol, calabaza y otros cultivos autóctonos (Palerm, 1997).

Granados-Sanchez *et al.* (2004) mencionan que la agricultura de escurrimiento es practicada por la cultura nañú (otomí) en el Valle del Mezquital, Hidalgo. La cual consiste en la apertura de la parcela de forma manual con herramientas tradicionales y animales de carga. Al mismo tiempo construyen obras perimetrales y de captación mediante bordos, paredes, compuertas de desagüe y acequías, reforzadas con plantaciones de *Agave mapisaga* Trel. Con el arreglo listo de las parcelas para su cultivo, los agricultores de enero a abril aflojan el suelo con el paso del arado y después trazan los surcos. También en estos meses fertilizan el suelo con abonos de origen avícola, porcícola, ovino-caprino y pudriciones de rastrojo de maíz. Para que entre abril y junio de acuerdo a las condiciones de humedad se realice la siembra de maíz, frijol, calabaza y otros cultivos.

El *oasis* es un sistema de producción de alimentos próximo a cuerpos de agua, de pequeña escala y principalmente de autoconsumo, el cual es introducido alrededor del siglo XVI a Baja California Sur (Cariño *et al.*, 2012). Este se conforma de un sistema de cultivos estratificados, en los que el nivel superior es ocupado por palmas datileras, el segundo por árboles frutales y el inferior por hortalizas (Cariño *et al.*, 2012). Respecto a la fertilidad de su suelo, existe un aporte constante de hojarasca por

parte del ecosistema, lo que se refleja en un alto contenido de humus (Maya *et al.*, 1997).

2.3 Agricultura en el Valle de Tehuacán

En el Valle de Tehuacán se distinguen dos sistemas de producción agrícola. El primero es de riego, que presenta infraestructura de galerías filtrantes, canales de riego, zanjas o acequias para aprovechar las aguas pluviales de las barrancas, manantiales y obras menores (Anaya y Valera, 2000). Su superficie abarca el 10% del valle y los cultivos que se producen son la caña de azúcar, alfalfa, jitomate, chile ancho, calabaza, etc. (Gobierno de Puebla, 2011). El segundo es de temporal, que se practica aprovechando una irregular y aleatoria precipitación sobre suelos que se encuentran asentados en rocas calizas y extensos afloramientos rocosos. Se cultiva de forma intensiva maíz, frijol y trigo, los cuales abarcan 24.45% del valle. Gran parte de las áreas de cultivo se encuentran en lomeríos, por lo que se delimitan con cercos de piedras o plantas para prevenir la erosión, y retener la humedad (Chavez-Servia *et al.*, 2004).

En el valle de Tehuacán se presentan sequías moderadas y fuertes, donde las últimas están en el 10% del territorio, afectando la agricultura de temporal en los municipios de Caltepec, Zapotitlan Salinas, Ajalpan, Coxcatlán y Tehuacán (Gobierno de Puebla, 2011). Respecto al restablecimiento de la fertilidad del suelo Anaya y Valera (2000) mencionan que en la región se tiene pocos indicios de uso de agroquímicos, por lo que se depende de los abonos y del descanso de las áreas de cultivo. El abono de

gallina es el que se ha ocupado en cantidades importantes debido a la presencia de la industria avícola.

Existen varios sistemas agroforestales en la porción semiárida del Valle de Tehuacán y varían dependiendo de la comunidad. En Tehuacán está el sistema agroforestal en áreas de riego, donde predomina el guaje (*Leucaena esculenta* Benth) y mezquite (*Prosopis laevigata*) por su uso como leña o madera. En la comunidad de Calipam el sistema se caracteriza por que el guamúchil (*Pithecellobium dulce* Benth), el izote (*Yucca elephantipes* hort. Ex Regel) y el tepemesquite (*Pumelia leactevirens*) delimitan los terrenos como cercos vivos (Anaya y Valera, 2000). En San Luis Atlotitlán, San Rafael Coxcatlán y Santiago Coatepec, son sistemas en su mayoría de temporal donde predominan cactáceas columnares como el chichipe (*P. chichipe* y *P. chende*), la jiotilla (*Escontria chiotilla* Rose) y el garambullo (*Myrtillocactus schenckii* Britton y Rose), las cuales son mantenidas debido a que proveen de productos y servicios a los pobladores (Moreno-Calles y Casas, 2008; Moreno-Calles *et al.*, 2010). Respecto a la parte alta de clima templado del Valle, Vallejo *et al.* (2014) menciona la presencia de tres sistemas agroforestales de temporal. En Coyomeapan se encuentra la interacción de maíz, frijol, calabazas y chicharos con la vegetación dominada principalmente por *Pinus teocote*, *Quercus laurina*, *Q. candicans* y *Tenstroemia pringlei*. Para Santa María Ixcatlán los cultivos de maíz frijol y calabaza interactúan con la vegetación dominada por *Juniperus fláccida*, *Q. peduncularis*, *Q. urbanii* y *Brahea dulcis*. En San Lorenzo Pápalo el maíz, frijol, calabaza y hava están

junto a la vegetación representada por *Q. conzaii*, *Q. crassifolia*, *P. devoniana* y *P. lawsonii*.

2.3.1 Sistema Agroforestal Tradicional Milpa-Chichipera

De acuerdo a Moreno-Calles *et al.* (2012) el SAFT milpa-chichipera está constituido por los subsistemas: agrícola, forestal y ganadero. En el subsistema agrícola se cultiva principalmente el maíz delgado y el maíz blanco, ya que los consideran como los más resistentes a la sequía. También se cultivan las variedades de frijol vaquita, rojo, café y negro, junto con calabazas. Solo se realiza un ciclo de cultivo por año, que comienza en abril y mayo con la labranza del suelo, en junio se siembra, en julio se deshierba y en diciembre se termina con la cosecha. En las áreas de cultivo los agricultores dejan una distancia de 80 cm entre surcos y 1 m entre las plantas de maíz. Al momento de sembrar depositan en el suelo tres semillas de maíz por una de frijol. No usan agroquímicos porque consideran que quema a las plántulas. Para incrementar la fertilidad del suelo algunos agricultores aplican hojas de pirul (*Schinus molle*) o estiércol de vaca o burro.

El subsistema forestal presenta especies de plantas silvestres, cultivadas y algunas introducidas. Se han encontrado 122 especies, de las cuales el 90% son nativas y el 78% tienen algún tipo de uso para los habitantes, como por ejemplo: forraje, leña, comestible, medicinal, juguetes, bebida alcohólica, ceremonial, etc. Las plantas con uso reciben algún tipo de manejo por los habitantes, el cual puede variar desde su protección, tolerancia, propagación o transplante. Respecto a las prácticas

agroforestales del SAFT tenemos a los árboles dispersos, barreras vivas, islas de vegetación y vegetación circundante. El Cuadro 1 señala la variación de las prácticas agroforestales en cuanto a superficie, número de especies y componentes vegetación.

Cuadro 1. Prácticas agroforestales del SAFT milpa-chichipera (Moreno-Calles *et al.*, 2012)

<i>Práctica agroforestal</i>	<i>Área promedio (m²)</i>	<i>Número de spp. promedio</i>	<i>Especies preferidas por los habitantes (%)</i>
Árboles dispersos	16.3 ± 16.1	1	<i>Schinus molle</i> 29
			<i>Leucaena esculenta</i> 8
			<i>Prosopis laevigata</i> 8
Islas de vegetación	26.1 ± 19.1	6 ± 2.9	<i>Polaskia chichipe</i> 21
			<i>Polaskia chende</i> 12
			<i>Stenocerus stellatus</i> 8
Barreras vivas	111 ± 108.3	12.3 ± 7.2	<i>Agave scaposa</i> 41
			<i>Polaskia chichipe</i> 20
			<i>Ipomoea murucoides</i> 5
Vegetación circundante	282 ± 192.9	28.6 ± 9.9	<i>Agave scaposa</i> 41
			<i>Opuntia pilifera</i> 20
			Otras 13

Por último el subsistema ganadero se compone en promedio de 2.2 burros, 0.9 caballos y 1.7 vacas, por familia. También hay alrededor de 100 chivos que se distribuyen entre tres familias. La mayoría de los animales se usan para transporte y actividades agrícolas. Su alimento se conforma de rastrojo de maíz y forraje de plantas que se encuentran en el SAFT. Respecto al rastrojo se almacena en ciertos árboles del SAFT y alcanza para alimentarlos algunos meses, siendo necesario comprarles alimento cuando éste se termina.

2.4 Prácticas de manejo de la fertilidad del suelo en zonas secas

En los sistemas productivos agrícolas de regiones secas la baja fertilidad de los suelos y las lluvias bajas y variables, son las principales limitaciones para la producción de cultivos (Williams, 1999; Harris, 2002; Ncube, 2007). Donde los pequeños productores adaptan sus prácticas al paisaje, a los recursos naturales, recursos económicos y a la fuerza de trabajo, para mantener la fertilidad del suelo (Hailelassie *et al.* 2006). Aunque muchas veces las prácticas de manejo de la fertilidad que se llevan a cabo en estas regiones resultan ser inapropiadas (Coorbels, 2000; Ryan and Spencer, 2001; Ncube, 2007). Actualmente el uso de agroquímicos es escaso debido a la falta de accesibilidad para su compra, y cuando se puede conseguir los precios son altos (Harris; 2002; Ncube, 2007). Además se reporta que antes se ocupaba en mayor frecuencia y que ha venido disminuyendo su uso (Coorbels, 2000; Place *et al.*, 2003). El abono y los descansos son los principales mecanismos para mantener la fertilidad de los suelos agrícolas (Williams, 1999; Coorbels, 2000). Lamentablemente debido en gran parte al crecimiento poblacional los descansos han venido en desuso (Cleaver y Schreiber, 1994). Por ello la aplicación de abono se ha convertido en la forma más común para restablecer la fertilidad del suelo en zonas secas (Hoffman *et al.*, 2001; Lekasi *et al.*, 2002; Bista *et al.*, 2010). La aplicación de abono es generalmente aplicado en sitios que se perciben como deficientes de nutrientes, esto se debe a la falta de abono y al trabajo manual que requiere (Powell e Ikpe, 1992). En diversas regiones áridas presentan una variedad de prácticas que complementan a las anteriores. La gente de Zimbabwe aplica ceniza proveniente de sus hogares, aunque las cantidades son difíciles de cuantificar y su aplicación no es sistemática (Ncube,

2007). En Etiopía mencionan que la rotación de cultivos ha sido una alternativa en lugar de los descansos para las parcelas que se les aplica poca materia orgánica. Con la elección de cultivos determinada por como se adaptan a las condiciones biofísicas, además de las preferencias personales y las consideraciones económicas (Coorbels, 2000). En el mismo país se ha reportado que se arrancan hierbas y se queman en el área agrícola, pero esta práctica ya no se usa debido a que la vegetación se ha fragmentado y aislado (Mengesha, 1996). Una práctica común es la utilización *in situ* de residuos de cosecha al dejarlos en la superficie, cortarlos o incorporarlos al suelo antes de preparar la tierra para la siembra (Coorbels, 2000; Place *et al.*, 2003). Para el caso del composteo de abonos, hojarasca y desperdicios de comida, es una práctica reciente en África y que ha sido adoptada bajo situaciones favorables por algunos campesinos (Place *et al.*, 2002; Place *et al.*, 2003).

2.5 Efecto de las prácticas de manejo en la fertilidad del suelo

En cada sistema agroforestal se debe tomar en cuenta las prácticas de manejo de la fertilidad del suelo, el factor climático y el biofísico, para poder entender las condiciones fisicoquímicas presentes en el suelo (Powell y Williams, 1993; Young, 1997; Harris, 2002). Por tal motivo a continuación se describen las siguientes prácticas agrícolas y agroforestales del Valle de Tehuacán que tienen un efecto importante en la presencia de nutrientes en el suelo.

- i. Descanso: Es la práctica que después de cultivar el área de siembra por varios años y presentarse un descenso en la producción de cultivos, se deja de trabajar el área de

cultivo el tiempo necesario para que se recupere la fertilidad del suelo (Krishnamurthy y Ávila, 1999; Young, 1997). Esto sucede porque al inicio del descanso la vegetación crece rápidamente al almacenar los nutrientes disponibles del suelo, y después de cierto tiempo que aporta hojarasca al suelo, se puede recuperar o incrementar la cantidad inicial de nutrientes. Solo hay que considerar que cada nutriente tiene velocidades diferentes de recuperación en el suelo (Styger y Fernandes, 2006). En el caso de que se acorten los tiempos no se recuperaría la fertilidad. Lo cual no solo traería producciones bajas sino que también puede afectar a barbechos subsecuentes respecto al establecimiento de árboles (Styger y Fernandes, 2006; Young, 1997). Tiessen *et al.* (1992) mencionan que en una región semiárida de Brasil se producen cultivos por un tiempo de 5 años, donde los rendimientos disminuyen paulatinamente hasta que se abandona el área agrícola. Después se necesita un tiempo de entre 8 a 10 años para que la vegetación arbustiva restaure la condición inicial nutrimental del suelo.

- ii. Descanso mejorado: Es una práctica poco común que consiste en la introducción de especies mientras el suelo está en descanso y crece la vegetación. Su finalidad es la de recuperar la fertilidad del suelo más rápido que el barbecho tradicional y/o conseguir ciertos productos económicos. Si se tiene como objetivo mejorar la fertilidad del suelo, se deben elegir plantas que se establezcan fácilmente, crezcan rápido y que sean eficientes al tomar y reciclar los nutrientes disponibles. Además se debe considerar el tiempo de descanso del suelo, con el fin de saber si uno propaga árboles para descansos largos o arbustos para descansos cortos (Nair 1993, Styger y

Fernandes 2006). En ciertos poblados del Valle de Tehuacán-Cuicatlán durante el tiempo del descanso del área de cultivo los habitantes propagan brazos de pitaya (*Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb.), xoconostle (*S. stellatus* Riccob), y semillas de mezquite (*P. laevigata*), lo que favorece la rápida recuperación de la fertilidad del suelo (Moreno-Calles y Casas, 2010). Debido a que las raíces de estos cactus columnares atrapan con facilidad las esporas de las micorrizas, las cuales permiten que la planta tome una mayor cantidad de nutrientes (Camargho-Ricalde y Dhillon, 2003). En el caso del mesquite (*Prosopis laevigata*) tiene la capacidad de captar nitrógeno a través de bacterias, además se sabe que en el valle de Tehuacán-Cuicatlán el suelo debajo de su copa presenta valores más elevados de C y N que *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav.) Hawkins y *Cercidium praecox* (Ruiz y Pav. Ex Hook. y Arn.) Harms (Perroni-Ventura 2007; Perroni-Ventura *et al.*, 2010).

- iii. Manejo de abonos: Los factores que definen la efectividad de los abonos incluyen su composición, la dieta del ganado y el manejo del abono (Harris, 2002). En el caso del abono derivado de plantas se debe tomar en cuenta la especie, la parte de la planta y también su manejo (Young, 1997). Respecto al manejo de abonos es importante considerar un proceso correcto de composteo, ya que este mejora la cantidad y disponibilidad de nutrientes y materia orgánica (Powell y Williams, 1993). Otro aspecto a tomar en cuenta es el almacenamiento, el método y el tiempo de aplicación del abono, para así evitar la pérdida de nutrientes por lixiviación, volatilización de amonio y desnitrificación (Harris, 2002; Powell y Williams, 1993). En la investigación realizada por Lekasi *et al.* (2001) encontraron que en ciertos distritos de

Kenia, los productores realizan prácticas de manejo de abono vacuno, que consisten en cubrir, revolver, añadir ceniza y añadir agua. Para formar abono se crean camas a partir del alimento no deseado por el ganado, la hojarasca que se encuentra dentro y fuera de la granja, y del estiércol de vaca. Aunque una parte de los productores solo forman las camas, más de la mitad les realiza una o varias de las prácticas antes mencionadas. Este proceso para crear abono es considerado deficiente por Lekasi *et al.* (2002), ya que se pierde mucho N mediante el ambiente y el suelo. Las alternativas a considerar serían tener una capa impermeable debajo de las camas, separar la orina de las excretas o cambiar el rastrojo de maíz por otra planta que absorba mejor la orina.

2.6 Interacciones árboles-cultivo

En un sistema agroforestal cuando los árboles y los cultivos crecen en proximidad interactúan de forma positiva, negativa o neutral (Sanchez, 1995). La complementariedad o interacción positiva entre los componentes sucede si los árboles o cultivos son capaces de captar recursos no disponibles para el otro, para que el total de recursos en el sistema se incremente. La competencia o interacción negativa árbol-cultivo resulta en una reducción en la capacidad de uno o dos de los componentes para capturar recursos. La interacción neutra es cuando el árbol y el cultivo no se benefician ni reducen la capacidad de capturar recursos (Ong y Leakey, 1999; Ong y Huxley, 1996). Las interacciones en los sistemas agroforestales involucran una serie de procesos complejos, pero se pueden considerar de forma simplificada (Cuadro 2) si las interacciones son categorizadas de acuerdo a los factores más importantes (Rao

et al., 1998). Es importante mencionar que el efecto de la interacción depende de la edad, tamaño y población de las especies dominantes, al igual que la disponibilidad de los recursos (Ong y Leakey, 1999). Para que las interacciones ofrezcan complementariedad significativa al árbol y/o cultivos, estos deben diferir mucho en la forma de obtener luz, agua y nutrientes (Ong y Leakey, 1999; Rao *et al.*, 1998).

Cuadro 2. Procesos de interacción árbol-suelo-cultivo en sistemas agroforestales tropicales (Rao <i>et al.</i> , 1998)	
<i>Origen de la interacción</i>	<i>Procesos</i>
Fertilidad del suelo: química	
Carbon	Incremento de materia orgánica en el suelo
Nitrógeno	Incremento de N en el suelo
Fósforo	Transformación de P en formas disponibles
Cationes (Ca, Mg, K)	Reubicación en el perfil del suelo
Fertilidad del suelo: física	Mejoramiento de agregados y porosidad del suelo
	Menor compactación del suelo
Fertilidad del suelo: biológica	Acumulación de macrofauna y microorganismos suelo
	Incremento/reducción en el suelo de insectos patógenos
Competencia	Árboles y cultivos comparten: agua, luz y nutrientes
Microclima	Sombra: reducción de temperatura en suelo y aire
	Protección del viento
	Intercepción y redistribución de la precipitación
Conservación	Reducción de la erosión del suelo
	Reducción de la lixiviación
Biológica: hierbas	Reducción de poblaciones
	Cambio en las especies
	Descenso en la cantidad de sus raíces
Plagas y enfermedades	Reducción/incremento de plagas o depredadores
Alelopatía	Liberación de químicos que afectan a las plantas

Generalmente, en los sistemas agroforestales el recurso por el que más se compete es la luz y nutrientes, pero en el caso de las regiones semiáridas es el agua (Rao *et al.*, 1998; Ong y Leakey, 1999). Se ha comprobado en algunos cultivos en callejones de zonas semiáridas de India y Kenia que se tiene un efecto negativo sobre el

rendimiento del cultivo entre más disminuye la precipitación, puesto que la competencia árbol-cultivo por agua se incrementa mientras que el efecto de la fertilidad es moderado (Sanchez, 1995; Ong y Huxley, 1996). Sin embargo, para el caso de los árboles dispersos y árboles en linderos su efecto general no tiene gran impacto sobre los cultivos, más bien puede ser pequeño porque los árboles solo están en contacto con una pequeña parte del área total del cultivo (Rao *et al.*, 1998). Esta bien documentado para zonas áridas que la presencia de nutrientes debajo de la copa de árboles es más alta que en espacios abiertos (Belsky *et al.*, 1989; Mordelet *et al.*, 1993; Rhoades *et al.*, 1997), y de acuerdo a Campbell *et al.*, (1994) los árboles mejoran la fertilidad del suelo debajo de sus copas pero no a costa de la fertilidad que rodea a los árboles. También es importante considerar el efecto en conjunto de los árboles (cobertura vegetal) sobre el suelo, el cual es indispensable para su desarrollo (Weltzin y Coughnour, 1990; Callaway, 1995). Las plantas perennes con raíces profundas toman nutrientes que no están disponibles para plantas arbustivas o herbáceas, y los depositan en la superficie del suelo a través de la hojarasca (Nair, 1993; Young, 1997). La hojarasca es la principal fuente de nutrientes, aún así se debe considerar a las ramas, corteza, flores y frutos (Nair, 1993). En este caso los cultivos aprovechan los nutrientes cuando en el área de cultivo la hojarasca de los árboles provee de energía a la fauna edáfica y estimula la descomposición y mineralización de la materia orgánica (Callaway, 1995; 2007). Otro efecto de la cobertura vegetal sobre la presencia de nutrientes es a través de interacciones indirectas con animales, porque estos pasan periodos largos de tiempo cerca de los árboles y defecan más que en espacios abiertos (Callaway, 1997; 2007).

III. OBJETIVO

3.1 Objetivos General

Comparar las prácticas de manejo y su incidencia sobre la fertilidad del suelo en el SAFT milpa-chichipera, en San Luis Atlotitlán, Puebla.

3.2 Objetivos Particulares

- Analizar las prácticas de manejo que inciden sobre la fertilidad del suelo del SAFT milpa-chichipera, en San Luis Atlotitlán, Puebla.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas de las parcelas SAFT milpa-chichipera, en San Luis Atlotitlán, Puebla.
- Analizar la influencia de las prácticas de manejo sobre la fertilidad del suelo de los SAFT milpa-chichipera, en San Luis Atlotitlán, Puebla.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en San Luis Atolotitlán, municipio de Caltepec, Puebla, cuyo poblado se encuentra dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Figura 1). Su territorio abarca 10, 880 ha, la elevación es de 1, 100 hasta los 2, 554 m, la precipitación media anual es de 407.2 mm y la temperatura promedio es de 21°C. La vegetación más extendida es el bosque de chichipera, la cual está dominada por *P. chichipe* y *P. chende*, y están a elevaciones de 1,700 a 2,300 metros. Las áreas mejor conservadas se encuentran a alturas de 2,100 a 2,300 metros y con una pendiente mayor de 25 °C. Los suelos donde se presenta el bosque de chichipera son volcánicos, siendo los mejores para la agricultura que los derivados de piedra caliza que predominan en el Valle (Moreno-Calles *et al.* 2012).

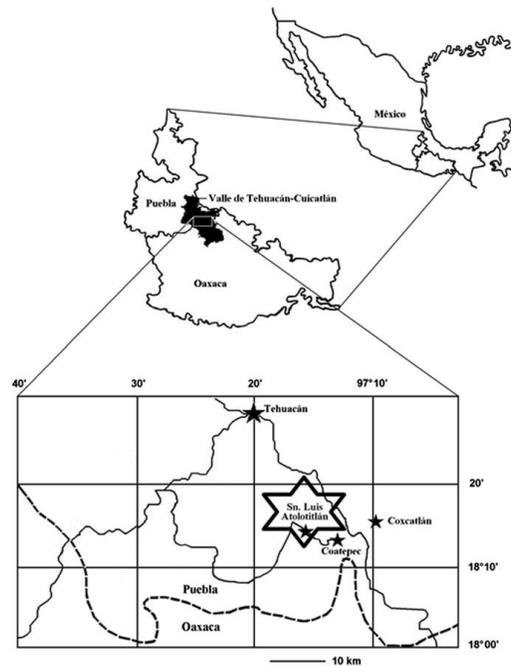


Figura 1. Ubicación de San Luis Atolotitlán (Moreno-Calles *et al.*, 2012)

La comunidad es predominantemente mestiza, habitada por 1374 personas (censo 2010, IMSS) y presenta un régimen comunal y ejidal de tenencia de la tierra. La principal actividad económica es la agricultura, que abarca alrededor de 1500 ha de las cuales el 90% es de temporal. Se practican los siguientes sistemas agrícolas: 1) SAFT chichipera-milpa; 2) Plantaciones de pitahaya (*Hylocereus undatus* Britton & Rose) creciendo en mezquites y otras leguminosas; 3) Huertos familiares; 4) Pitaya (*S. pruinosus* y *S. stellatus*); y 5) Monocultivos de maíz, tomate, trigo y amaranto (Moreno-Calles *et al.*, 2012). El SAFT milpa-chichipera es la actividad que predomina en la comunidad con 922.5 ha, es decir 61.5% de la superficie agrícola (Moreno-Calles *et al.*, 2012). También el SAFT milpa-chichipera en conjunto con la demás vegetación de la comunidad proporcionan a la ganadería 128 especies de plantas forrajeras, como malezas, arbustos y árboles (Torres, 2004). Respecto a la alimentación de las familias, el maíz y el frijol son la base, complementado con otros productos agrícolas obtenidos en el mercado, y ocasionalmente carne. Además incorporan más de 40 especies de plantas silvestres para obtener productos como frutos, hojas, raíces y semillas (Torres, 2004).

4.2 Entrevista sobre el manejo de la fertilidad del suelo

De un total aproximado de 80 ejidatarios SAFT milpa-chichipera se seleccionaron a 30 para entrevistarlos. La entrevista analizó las prácticas de manejo que influyen sobre la fertilidad del área agrícola. Se tomó como referencia a Young (1997) y a Harris *et al.* (2002) que consideran para el mantenimiento de la fertilidad del suelo a las prácticas como, labranza, poda de árboles, rotación de cultivos, manejo de

fertilizantes, abonos y ganado, descanso del área de cultivo y descanso mejorado. Con esto se definió la entrevista y sus secciones, i) historia de la parcela, ii) manejo de la parcela y iii) descanso del área del cultivo (Anexo 6.1). Después se aplicaron 4 entrevistas piloto para corregir preguntas que no estuviesen bien planteadas. También se hicieron observaciones en campo y relatos hablados con otros productores para complementar la información. Por último los resultados obtenidos se analizaron mediante una matriz de datos, para determinar información histórica de la parcela, las estrategias de manejo que realizan, de qué forma las llevan a cabo, por qué se realizan de esta manera, con qué frecuencia y en qué cantidades.

4.3 Determinación de las prácticas de manejo en las parcelas

A partir de la información obtenida sobre las prácticas que se realizan en la comunidad y considerando que la cobertura vegetal influye en la fertilidad de la parcelas (Campbell *et al.*, 1994; Weltzin y Coughenour, 1990), se definieron las prácticas de mayor influencia sobre la fertilidad. El porcentaje de la cobertura vegetal en las parcelas fue el único factor en el que se tuvieron que hacer mediciones en campo, para ello se tomó como referencia a Moreno-Calles *et al.* (2012). Primero se obtuvo el área que abarca la parcela a partir de certificados de derecho ejidal (PROCEDE) o en su defecto con mediciones en campo. Después, dentro de la parcela se midieron las áreas sin vegetación, al ajustar y medir una figura geométrica para cada espacio encontrado. Las áreas se calcularon a partir de sus respectivas formulas geométricas y en el caso de los polígonos irregulares fue mediante el software AUTOCAD (2010). Una vez obtenida el área total sin vegetación, se le restó al área

de la parcela para así obtener la cobertura vegetal en m² y luego se calculó el porcentaje de vegetación de cada parcela.

4.4 Método de muestreo y análisis físico-químico del suelo

Se realizó un recorrido de campo en la comunidad para ubicar las parcelas SAFT milpa-chichipera cultivadas en alguno de los dos años anteriores. Se identificaron 65 parcelas en activo, de las cuales se seleccionaron 20. En las áreas de cultivo de cada parcela seleccionada se colectó una muestra compuesta antes de la siembra (junio 2013), la cual consistió en recoger con una barrena Hoffner 21 submuestras de suelo en un patrón de zig-zag. Finalmente se georeferenciaron las parcelas con GPS marca GARMIN modelo 12 XCL (Cuadro 3).

En el laboratorio cada muestra compuesta fue secada, molida y tamizada (tamiz con malla de 200 micras). Considerando los procedimientos que se describen en la NOM-021-2000 para el análisis de fertilidad de suelos (SEMARNAT, 2002), a cada muestra se le determinó textura por el método de Boyoucos, pH relación 1:2, conductividad eléctrica (CE) relación 1:5, capacidad de intercambio catiónico (CIC) con CH₃COONH₄ 1N pH=7 y materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black. Además se cuantificó la cantidad de nutrientes, nitrógeno total (N-t) por el método Kjeldahl, nitrógeno inorgánico (N-i: NO₃ + NH₄) extraído con KCl 2N y cuantificado por arrastre de vapor; fósforo disponible (P) por el método Olsen; potasio (K) por flamometría y calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrometría de absorción atómica; los micronutrientes cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y

zinc (Zn) se extrajeron mediante DTPA y cuantificados mediante el espectrofotometría de absorción atómica; mientras que el boro (B) se determinó mediante el método de azometina-H.

Cuadro 3. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo

<i>Número de parcela</i>	<i>Nombre del sitio</i>	<i>Coordenadas</i>
1	El agua turcaza	N 18° 10' 31.4'' O 97° 26' 49.3''
2	La tranca	N 18° 10' 38.7'' O 97° 27' 08.3''
3	El agua el palomito	N 18° 10' 59.6'' O 97° 26' 13.6''
4	La tranca	N 18° 10' 43.6'' O 97° 26' 46.9''
5	Cerro el cacalote	N 18° 11' 7.3'' O 97° 26' 0.3''
6	El agua mostranzo	N 18° 10' 44.0'' O 97° 27' 01.8''
7	La tranca	N 18° 10' 40.0'' O 97° 27' 05.2''
8	El agua turcaza	N 18° 10' 28.8'' O 97° 26' 48.3''
9	La caja	N 18° 11' 10.1'' O 97° 26' 13.22''
10	Cerca invernadero	N 18° 10' 55.3'' O 97° 26' 20.3''
12	El tocotín	N 18° 10' 49.4'' O 97° 26' 40.2''
14	Rincon del moral	N 18° 10' 13.3'' O 97° 26' 38.6''
15	El vivero	N 18° 10' 23.6'' O 97° 26' 36.6''
16	La tranca	N 18° 10' 42.9'' O 97° 26' 49.2''
17	El sauce	N 18° 10' 54.3'' O 97° 26' 38.3''
18	Rincon del moral	N 18° 10' 11.0'' O 97° 26' 39.8''
19	Camino al vivero	N 18° 10' 44.9'' O 97° 26' 17.1''
20	El sauce	N 18° 10' 51.7'' O 97° 26' 27.1''

Se determinó para las parcelas la interpretación de los parámetros de CE, CIC, pH, MO, Ni, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn y B, de acuerdo a Etchevers (1988) y Ankerman y Large (1977), y después se agruparon las interpretaciones por porcentajes en cada uno de los intervalos de concentración (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto).

4.5 Comparación entre las prácticas de manejo

Para identificar que práctica de manejo produce diferencias en alguno de los parámetros fisicoquímicos del suelo, se realizó el análisis de componentes principales (ACP) con un análisis de correlación (Quinn y Keough, 2002). Primero se obtuvieron las desviaciones estándar de cada uno de los parámetros de fertilidad para determinar si se trabaja con una matriz de correlación o covarianza, después se calcularon los autovalores (eigenvalues) para saber la cantidad de componentes principales que explican la mayoría de la variación y por último se obtuvo la matriz de componentes principales (Everitt y Hothorn, 2011). Para el cálculo de la matriz ACP se verificó la normalidad de las 15 variables mediante la prueba de Shapiro (Quinn y Keough, 2002) y se encontró que solo 7 cumplían con los criterios de normalidad. El resto de las variables (CE, MO, N-i, P, Mg, Cu y B) se normalizaron a través de la transformación box-cox (Krebs, 2013). A los primeros cinco componentes principales de la matriz de correlación por sitio junto a las prácticas de manejo (porcentaje de cobertura vegetal, año de apertura de la parcela, cantidad de abono aplicado y años de descanso de la parcela) se les aplicó el análisis de correlación con la secuencia de Bonferroni (Holm, 1979). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software R 3.0.3.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Historia de la parcela

Principalmente desde 1925 hasta 1985 bajo previa autorización de las autoridades se ha realizado la apertura o el desmonte de la parcela, lo cuál es el acondicionamiento del suelo para su uso agrícola. Dicha actividad consiste en un principio en la selección de los sitios con las mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos, como mayor profundidad de suelo, menos cantidad de piedras y que permita la entrada del arado, por lo que los lugares con pendiente elevada, pedregosos y/o con roca madre aflorante (tepetate) no son ocupados y su vegetación presente se preserva (Figura 2). Luego, en el área de cultivo seleccionada se arrancan todos los arbustos y hierbas con tlalacho (zapapico), y sí fuese necesario cortan con el machete las raíces de la planta para removerla fácilmente. Al secarse las plantas que fueron removidas son utilizadas como leña o se quedan en la parcela descomponiéndose. En el caso particular del coahuino (*Schinus molle*), mezquite (*Prosopis laevigata*), chichipe (*Polaskia chihipe*), chende (*P. chende*) y otros árboles o cactáceas columnares, no se quitan del área del cultivo debido a su valor de uso. De acuerdo a Don Adelfo, se tiene la creencia que cuando recién se abre la parcela la milpa esta mucho mejor porque la tierra aprovecha los nutrientes que se acumularon durante siglos. Algunos agricultores comentan que al abrir las nuevas áreas de cultivo, el maguey (*Agave spp.*) y/o nopales (*Opuntia spp.*) son removidos y transplantados en las orillas de la parcela, para delimitarla. También pueden ser colocados en los manchones de vegetación presentes dentro de la parcela.

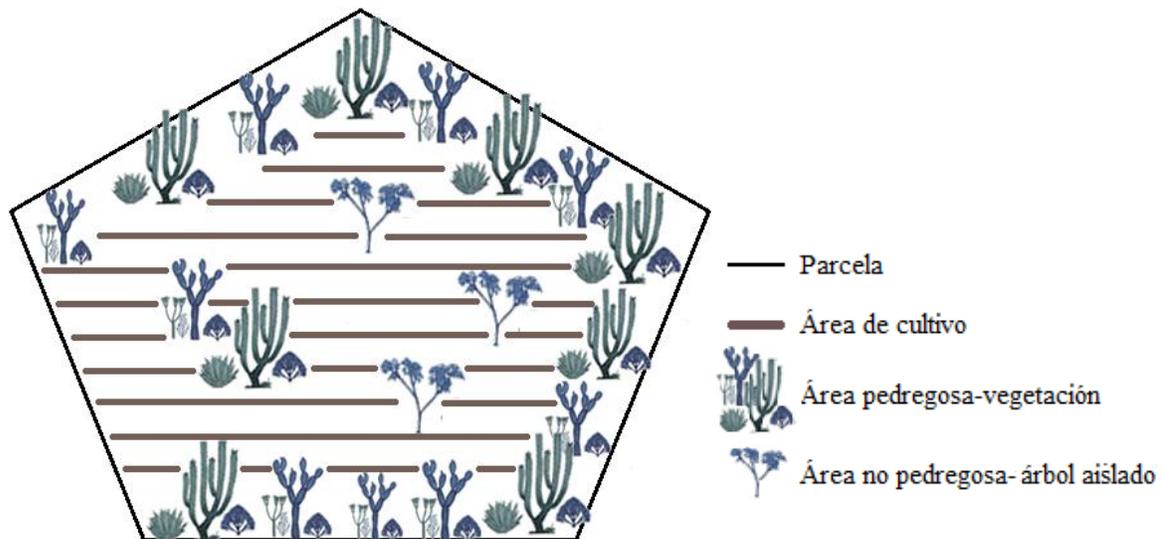


Figura 2. Configuración en la parcela del área de cultivo y la vegetación

Las personas entrevistadas indican que en el momento de la apertura de la parcela las plantas que se quitaron son las mismas especies que se encuentran actualmente alrededor de la milpa (Cuadro 4). Después de abierta la parcela también se siembran o plantan diversas especies en las áreas con vegetación, como la pitaya (*Stenocereus pruinosus* y *S. stellatus*), el guaje (*Leucaena esculenta*) o el chende (*P. chende*).

Cuadro 4. Plantas encontradas en la apertura de la parcela y presentes en la actualidad		
Familia	Nombre de la especie	Nombre común
Agavaceae	<i>Agave spp.</i>	Maguey
Anacardiaceae	<i>Rhus virens</i> Lindheim	Azomiate
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Pirul/Coahuino
Asteraceae	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray	Estrellita
Asteraceae	<i>Montanoa sp.</i>	Panoxochilt
Asteraceae	<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	Kimiche
Asteraceae	<i>Verbesina sp.</i>	Totopoca blanca
Asteraceae		Hierba de gusano
Cactaceae	<i>Myrtillocactus schenckii</i> Britton & Rose	Garambullo
Cactaceae	<i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber	Nopal
Cactaceae	<i>Opuntia tunicata</i> Hort.Berol. Ex Pfeiff	Tencholote

Cuadro 4. Continuación		
<i>Familia</i>	<i>Nombre de la especie</i>	<i>Nombre común</i>
Cactaceae	<i>Polaskia chende</i> (Rol.-Goss.) A.C.Gibson & K.E.Horak	Chende
Cactaceae	<i>Polaskia chichipe</i> (Rol.-Goss.) Backeb	Chichipe
Cactaceae	<i>Stenocereus stellatus</i> Riccob	Xoconostli
Convulvulaceae	<i>Ipomoea murucoides</i> Roem. & Schult.	Coahuate blanco
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia antisyfilitica</i> Zucc	Candelilla
Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i> Sessé	Cuarta
Fabaceae	<i>Eysenhardtia polystachya</i> Sarg.	Coatillo
Fabaceae	<i>Mimosa</i> sp.	Garabato
Mimosaceae	<i>Acacia acatlensis</i> Benth.	Guajillo
Mimosaceae	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache
Mimosaceae	<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C.Johnst	Mesquite
Rosaceae	<i>Amelanchier denticulata</i> (Kunth) K.Koch	Tlachistle
Rutaceae	<i>Ptelea trifoliata</i> Bol.	Palo de zorrillo
Verbenaceae	<i>Lippia graveolens</i> Kunth	Oregano

5

5.2 Manejo de la parcela

Al terminar la cosecha de maíz, las vacas y los burros se liberan para que de diciembre a febrero se alimenten de los residuos de cosecha (Figura 3), lo cual impide que dicha materia orgánica permanezca en el área agrícola. Para los meses de marzo, abril, mayo y junio, continúan libres y se alimentan del forraje silvestre que provee la vegetación. La cantidad de ejidatarios que sueltan a su ganado es del 73.3%, específicamente el 75% de los burros y el 58.3% de las reses se liberan en el campo (Cuadro 5). Cabe aclarar que no todo este ganado se encuentra suelto durante esos 6 meses, ya que depende del recurso disponible como residuos de cosecha, forraje silvestre o el uso del ganado que le de el ejidatario. Una vez que inicia entre mayo y junio la preparación del suelo para la siembra, a los burros se les ocupa para jalar el arado y a las vacas se les lleva al potrero comunal. Mientras tanto se les da zacate para alimentarlos hasta que se levante la cosecha.

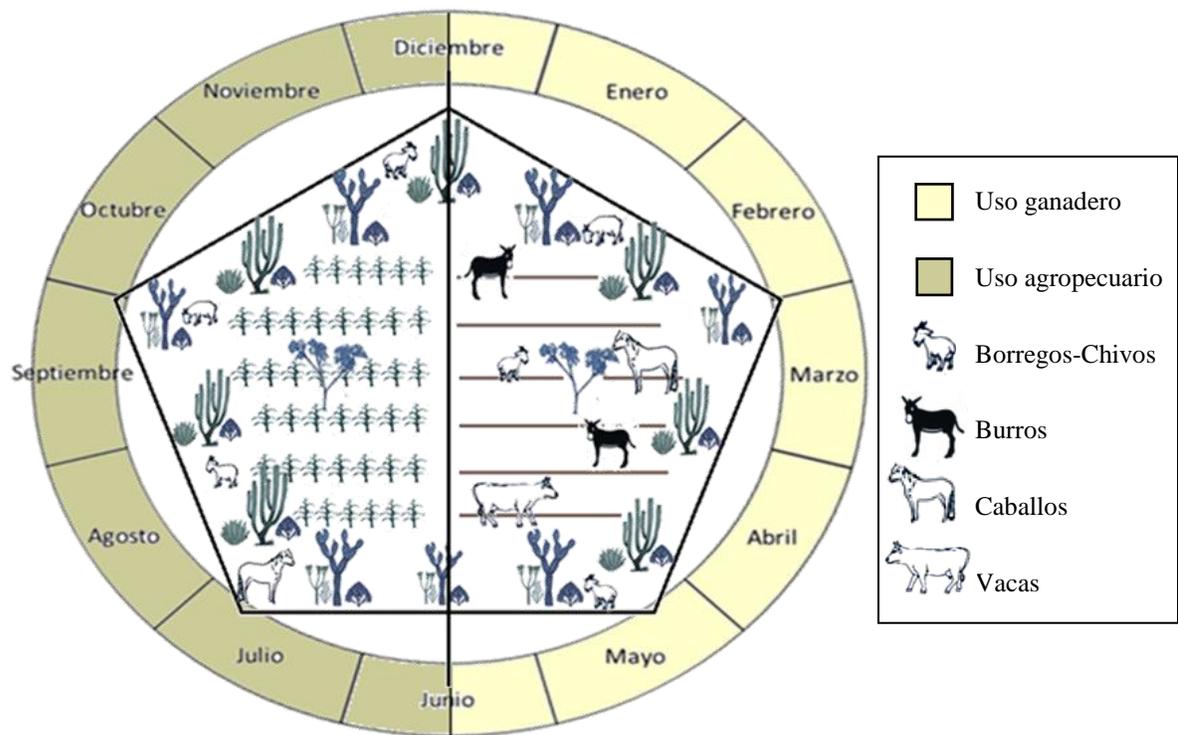


Figura 3. Calendario de la presencia del ganado en la parcela SAFT milpa-chichipera

Los caballos se encuentran en las casas y se les alimenta con zacate, excepto uno que se libera y se alimenta de forraje silvestre. En el caso de los borregos (46.2%) y los chivos (80%) los pastorean en las parcelas del ejido durante todo el año, mientras que el resto se mantienen en terrenos privados. Respecto a los primeros se alimentan a principios de año de los residuos de cosecha, luego en época de secas dependen del forraje silvestre y de zacate, y en época de lluvias solo comen forraje silvestre. La precipitación a lo largo del año es un factor determinante para la producción agrícola y la disponibilidad de forraje para el ganado, por ende determina la autosuficiencia o la compra de alimento para el ganado. Sólo el 43.3% de los ejidatarios tienen potrero, es decir, tienen el perímetro de su parcela cercado con postes de concreto y alambre. Lo que permite que exclusivamente el ganado del propietario se alimente de los

residuos de cosecha y del forraje silvestre presente en la parcela, y favorece a que la materia orgánica o el estiércol no se transporten a otros lugares.

Cuadro 5. Distribución del ganado para su alimentación (diciembre-junio)				
<i>Ganado</i>	<i>Número total</i>	<i>Libres en el campo</i>	<i>Pastorean en campo</i>	<i>Otros</i>
Burros	56	75%	0%	25%
Borregos	13	0%	46%	54%
Caballos	5	20%	0%	80%
Chivos	25	0%	80%	20%
Reses	36	58%	14%	28%

El 43.3% de los agricultores usan abonos para restablecer la fertilidad de las áreas de cultivo. La mayoría (84.6%) recolecta el abono de su ganado en el transcurso de enero a junio, el cual llevan a la parcela y lo aplican directamente a la superficie del suelo o lo amontonan al aire libre o lo almacenan en costales para después esparcirlo. El resto (15.4%) compró abono y lo aplicó en la superficie del suelo. Se deja de aplicar abono cuando caen las primeras lluvias y en consecuencia inician las actividades de labranza de suelo. También la aplicación del abono puede ser en toda la parcela o sólo en lugares donde no esté creciendo bien la milpa. El abono de chivo es el que se aplica en mayor cantidad (6600 kg/ha), mientras que el de burro es el más utilizado pero solo aplican 2096 kg/ha (Cuadro 6). Además se menciona que la cantidad que aplican es poca en relación a la superficie de cultivo. Se debe considerar que la colecta de estiércol de burro y vaca se realiza con los animales que no se liberan y que son pocos los ejidatarios que llevan a cabo esta actividad. De los abonos que se ocupan (burro, chivo, gabazo, res o lama de río), el gabazo de agave es el único que dejan descomponerse para después aplicarlo. En un caso particular se observó que en el área de cultivo de una parcela estaba presente un corral con chivos, lo cuál permite juntar fácilmente el abono y después esparcirlo. Dicha práctica no es

común porque implica un cuidado constante de los animales. En otro caso particular solo una persona rota los cultivos, lo que consiste en sembrar avena o cebada un año y al siguiente sembrar maíz para que se mejoren las condiciones del suelo. Respecto a las personas que no aplican abonos, comentan que la distancia de sus casas a las parcelas es uno de los factores que determina su uso. La opinión generalizada acerca de los agroquímicos es que son útiles en donde hay buenas condiciones de lluvia, y que la desventaja son sus costos y que sólo sirven para el año en que los utilizan. Por lo que en la comunidad únicamente los utiliza solo una persona que tiene riego. Además los entrevistados comentan que los abonos son mejores que los químicos porque van nutriendo a la tierra de forma constante. Cabe mencionar que una vez el gobierno otorgó de manera gratuita fertilizante químico a todos los agricultores, pero nunca hubo asesorías referentes a su manejo, lo que conllevó a que productores dañaran sus plantas e incluso que dejarán a algún terreno infértil.

Cuadro 6. Obtención y aplicación de abonos por los ejidatarios

<i>Abono</i>	<i>No. de personas que colectan</i>	<i>No. de personas que compran</i>	<i>Uso promedio por ha (kg)</i>
Burro	9	0	2096
Chivo	3	1	6600
Gabazo (agave)	2	0	1600
Lama de río	0	1	2906
Vaca	3	0	2000

Respecto al manejo del área agrícola, de abril a mayo el 83.3% de los ejidatarios podan las ramas de los árboles que le hacen sombra a la milpa, sólo cuando es necesario. De mayo a junio que es la temporada de las primeras lluvias empiezan a barbechar con yunta de burros (59.4%), toros (25%), tractor (9.4%) o caballos (5%), en esta actividad voltean la tierra y revuelven el abono sí es el caso. Los agricultores

barbechan por segunda ocasión cuando crecen hierbas en el terreno antes de sembrar o en otros casos lo realizan después de levantada la cosecha para aerear el suelo y para que los residuos de cosecha se reincorporen al suelo; esto último mencionan que poca gente lo realiza por el trabajo que involucra o por el gasto económico. Finalmente cuando la humedad del suelo es la adecuada, se surca con la yunta y luego siembran.

Respecto a la presencia de la vegetación alrededor del área agrícola, el 40% de las personas piensan que es benéfico, ya que aportan abono a través de sus hojas y retienen la tierra, mientras que el resto opina que le hace sombra al maíz, le roba humedad y por lo tanto no lo deja crecer. Se cree que la vegetación en la parcela es importante, porque cuando llueve la materia orgánica que se encuentra en el suelo es arrastrada hacia las áreas de cultivos. Además toma especial relevancia sí se considera que la tercera parte de los ejidatarios dependen de la fertilidad natural del suelo, es decir que no aplican abonos ni descansos para recuperar la fertilidad y dependen de las condiciones fisicoquímicas naturales del suelo.

5.3 Descansos del área de cultivo

El 26.7% de los ejidatarios sí dejan descansar el suelo para que recupere su fertilidad. La gente que no deja descansar el suelo (73.3%) explica que no realizan esta práctica porque viven del campo y que, aunque se coseche poco cuando hay poca lluvia, deben cultivar todos los años. La gente se acuerda que dicha práctica la realizaban sus papas o sus abuelos. El descanso se lleva a cabo haciendo una rotación de las áreas de

cultivo en la parcela, al dejar un sitio descansando mientras se trabaja el otro, o bien sí se tiene más de una parcela lo realizan de la misma forma sólo que a mayor escala. En la parcelas predomina la dinámica de trabajar un año el área agrícola por otro año de descanso (62.5%), las demás (25%) son trabajadas de 2 a 4 años por 1 a 2 años de descanso, y sólo una parcela se trabajó 10 años, llevando hasta ahora 7 años de descanso. Los factores que les indican que deben dejar descansar las parcela son que la planta de maíz no crezca y que se produzcan menos costales de mazorca, ya que de acuerdo a su percepción baja la fuerza de la tierra. La cantidad de parcelas y su tamaño son un factor que determina la presencia y los tiempos de los descansos, ya que los ejidatarios con menor área total de cultivo tienen mayor presión para producir maíz y es más difícil que permitan descansar el suelo. Por ejemplo, comentan que dejan solamente descansar 1 año o que no se deja descansar porque es el único trabajo con el que cuentan y que de eso dependen para vivir, o bien si tienen varias parcelas dejan descansar por tiempo indefinido los terrenos distantes mientras que trabajan los cercanos. Una vez terminado el periodo de descanso se arrancan todos los arbustos con el tlalacho del área de cultivo, y las hierbas se quitan con la yunta; y en el caso que haya crecido un árbol o cactácea columnar se conservan.

5.4 Fertilidad del suelo y prácticas de manejo en las parcelas

La parcela 15 es la que presenta el valor más alto de CE, N-t, N-i, Cu y B (Cuadro 7), lo cual coincide en que es una de las que se aplica mayor cantidad de abono con 6034 kg/ha y que la dejan descansar por 2 años. Además presenta una cobertura vegetal del 41.7% y se abrió la parcela alrededor de 1970. De forma opuesta la parcela 6 es la

Cuadro 7. Fertilidad del suelo y prácticas de manejo en las parcelas SAT milpa-chichipera

Sitio	Textura		Clasificación	C.E.	C.I.C.	pH	M.O.	N-t	N-i	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B	C.V.	Apertura	Abono	Descanso	
	Arena	Limo																					Arcilla
	%	%	%	dS	me/100g	%	%	%	%	%	%	%	%	mg kg ⁻¹	años								
1	48.20	33.28	18.52	Franco	1.82	28.50	7.67	2.60	0.15	5.60	22.20	320	6884	895	9.56	0.68	0.38	32.66	2.23	10.38	1960	2682	1
2	50.20	35.28	14.52	Franco	2.00	26.25	7.51	3.40	0.14	8.40	18.30	74	3842	690	10.63	0.19	0.32	30.78	0.89	54.82	1950	0.00	2
3	48.20	31.28	20.52	Franco	1.53	28.00	7.49	2.80	0.12	4.20	21.40	191	5718	609	10.63	0.33	0.44	27.78	1.02	44.59	1970	0.00	0
4	38.20	33.28	28.52	Franco arcilloso	1.45	43.50	7.53	2.30	0.13	18.20	31.00	250	4022	450	7.63	1.35	0.47	34.95	0.83	42.01	1935	0.00	0
5	52.20	19.28	18.52	Franco arcilloso arenoso	2.77	15.60	7.90	3.90	0.19	8.40	23.00	390	3914	2223	10.45	0.48	0.86	21.69	1.34	45.13	1960	0.00	0
6	30.20	43.28	26.52	Franco	2.41	44.25	7.87	2.20	0.14	7.00	19.90	168	3084	306	2.99	0.24	0.30	33.66	0.06	35.85	1960	0.00	0
7	40.20	37.28	22.52	Franco	1.33	27.00	7.27	9.40	0.16	7.00	19.10	117	3122	754	13.98	0.27	0.40	37.41	0.95	27.13	1950	0.00	1
8	48.20	35.28	24.52	Franco	2.45	25.60	7.84	4.30	0.21	5.60	15.90	207	4738	553	12.26	1.07	0.35	27.16	0.89	15.30	1960	0.00	2
9	56.20	29.28	14.52	Franco arenoso	2.17	25.50	8.48	3.20	0.16	5.60	19.90	425	4720	771	1.83	0.44	0.25	12.34	1.14	43.90	1960	1296	0
10	40.20	35.28	24.52	Franco	2.77	29.75	8.16	8.50	0.13	14.00	15.90	242	3528	791	5.89	2.37	0.15	12.88	1.02	46.94	1970	896	0
11	52.20	31.28	16.52	Franco	2.34	29.25	8.07	9.60	0.18	18.20	42.10	398	4034	993	9.46	0.78	0.49	26.07	2.99	38.76	1970	752	0
12	54.20	31.28	16.52	Franco arenoso	1.81	51.90	7.43	2.60	0.13	21.00	18.30	133	4086	3259	10.72	1.19	0.37	33.60	0.06	52.38	1985	2413	0
13	70.20	21.28	8.52	Franco arenoso	1.50	30.50	8.44	1.60	0.22	7.00	12.70	300	5726	1384	6.17	0.68	0.17	9.32	1.08	49.05	1950	0.00	0
14	60.20	27.28	12.52	Franco arenoso	1.91	29.00	8.29	2.20	0.11	5.60	15.10	215	5294	442	6.27	0.80	0.21	7.48	0.64	48.24	1950	0.00	0
15	70.20	19.28	10.52	Franco arenoso	4.04	25.75	8.31	4.10	0.21	54.60	23.00	172	5190	1728	1.11	3.93	0.34	20.06	3.18	41.73	1970	6034	2
16	44.20	37.28	18.52	Franco	1.48	25.00	7.24	3.90	0.19	4.20	25.40	238	3870	866	16.26	0.28	0.28	24.57	1.27	48.27	1980	450	0
17	44.20	37.28	18.52	Franco	2.40	19.00	7.91	3.80	0.18	12.60	31.80	277	4618	2084	10.45	0.97	0.52	10.27	1.21	48.75	1985	1508	0
18	42.20	25.28	32.53	Franco arcilloso	1.78	30.75	7.38	3.10	0.16	15.40	15.10	273	3128	607	12.06	0.38	0.43	40.90	1.02	48.96	1965	1156	0
19	54.20	33.28	12.52	Franco arenoso	2.15	39.40	8.27	2.20	0.12	5.60	15.10	257	3982	2416	7.56	0.98	0.21	12.82	2.54	35.31	1940	0.00	0
20	46.20	37.28	16.52	Franco	2.70	37.00	8.14	2.80	0.14	28.00	26.20	499	5304	1014	6.42	1.21	0.45	20.94	2.93	51.07	1960	7168	0

que presenta los valores más bajos de Ca, Mg, Cu y B, su cobertura vegetal es de 35.85%, la abrieron en 1960 y no aplican abonos ni dejan descansar el suelo. La parcela 7 tiene el valor más alto de MO (9.40%) al mismo tiempo que el valor más bajo de CE y pH, y el valor más alto de Fe. Dicha parcela cuenta con un 27.13% de cobertura vegetal, la abrieron en 1950 y le dan descansos de un año. Mientras que la parcela 13 tiene el valor más bajo de MO (1.60%), los valores más altos de pH y N-t, su cobertura es del 49.05% y su apertura en 1950. La cobertura vegetal de 52.38% y apertura en 1985 del área agrícola, se presentan en la parcela 12 junto con los valores más altos de CIC y Mg, y el más bajo en cuanto a B. Las parcelas 2, 3, 6, 14 y 19 tienen cantidades de macronutrientes debajo del promedio general (Cuadro 8), excepto por el Ca de la parcela 3 y 14, ninguna de estas utilizan algún tipo de abono y la parcela 2 es la única que deja descansar el suelo.

Cuadro 8. Promedios y desviaciones estándar de los parámetros de fertilidad del suelo

<i>Variable</i>	<i>Unidades</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación Estándar</i>
C.E.	dS	2.14	0.64
C.I.C.	me/100g	30.58	8.70
pH		7.86	0.40
M.O.	%	3.93	2.38
N-t	%	0.16	0.03
N-i	ppm	12.81	11.83
P	ppm	21.57	7.10
K	ppm	257.21	108.59
Ca	ppm	4440.20	1006.82
Mg	ppm	1141.76	792.62
Fe	ppm	8.62	3.93
Cu	ppm	0.93	0.88
Zn	ppm	0.37	0.16
Mn	ppm	23.87	10.29
B	ppm	1.36	0.91

Las parcelas 15 y 17 presentan casi todos parámetros arriba de la media para los macronutrientes, excepto para K y N-i respectivamente, en estos lugares se tiene una cobertura vegetal arriba del 40%, se abrieron las parcelas entre 1970 y 1985, y les aplican abonos. Respecto a la interpretación de la CE puede decirse que el 95% de los suelos de las parcelas no tienen problemas de salinidad (Cuadro 9). El 90% de la capacidad de intercambio catiónico es de alta a muy alta. El 75% de valores para pH se encuentran dentro de un rango de 7.20-7.80, es decir que la mayoría de los suelos son moderadamente alcalinos. El 95% de los datos de MO son adecuados ya que van de medianos a muy altos, y de forma similar el 100% de los datos de N-t son medianos y altos. En contraste con lo anterior, el 60% de los valores de N-i son bajos. El P y K comparten como mínimo el 95% de sus datos en rangos de medio a muy altos. Todos los datos del Ca se encuentran en valores muy altos, mientras que el 95% del Mg es alto y muy alto. El Fe (80%), Cu (60%) y el Zinc (100%) presentan valores deficientes ya que están en los rangos muy bajo y bajo. Para el Mn el 95% de los valores son adecuados y van de rangos medios a muy altos. El 40% del B tiene valores medios, mientras que el resto se distribuye en los demás rangos.

Cuadro 9. Porcentaje de parcelas clasificadas por su nivel de fertilidad

<i>Variable</i>	<i>MB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>MA</i>	
CE	45%	50%	5%	0%	0%	0%
CIC	0%	0%	10%	75%	15%	
pH	0%	0%	15%	75%	10%	
MO	0%	5%	50%	30%	15%	
N-t	0%	0%	50%	50%	0%	
N-i	0%	60%	25%	10%	5%	
P	0%	0%	30%	55%	15%	
K	5%	0%	35%	60%	0%	
Ca	0%	0%	0%	0%	100%	
Mg	0%	0%	5%	45%	60%	

Cuadro 9. Continuación

<i>Variable</i>	<i>MB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>MA</i>
Fe	15%	65%	20%	0%	0%
Cu	20%	40%	25%	10%	5%
Zn	90%	10%	0%	0%	0%
Mn	0%	5%	25%	40%	30%
B	10%	25%	40%	0%	25%

5.5 Comparación de las prácticas de manejo del suelo

Como se puede observar en el Cuadro 8 tenemos cinco unidades de medida diferentes en los parámetros fisicoquímicos, además los rangos de sus desviaciones estándar difieren, en especial la variación del Ca es la que más contrasta con las demás. Por esto se realizó la matriz de autovalores con los datos de correlación (Quinn y Keough, 2002). Respecto a los resultados de los autovalores, los primeros tres componentes tienen datos mayores a uno y junto con los dos componentes siguientes explican el 77.2% de la variación de todos los datos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentaje de variación de los componentes

<i>Componente</i>	<i>Autovalor</i>	<i>% de variación</i>
CP1	2.73	27.3
CP2	1.97	19.7
CP3	1.34	13.4
CP4	0.91	9.1
CP5	0.77	7.7
Total	7.72	77.2

Son ocho los componentes que presentan valores de correlación moderados (0.4- 0.6), el componente uno con el pH, el componente dos con la MO, P y Zn, el componente tres con el CIC y N-i, y el componente cuatro con la MO y Ca (Cuadro 11). Mientras que el componente cinco es el único que presenta una correlación alta (-0.71) con el

parámetro Mg. Lo que significa que la mayoría de la variación de los parámetros de fertilidad puede ser explicada de mejor forma a través de los valores Mg.

Cuadro 11. Matriz de los 5 componentes principales y los parámetros de fertilidad del suelo

	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
CE	0.3485	-0.1362	0.1769	-0.2769	0.1754
CIC	-0.0998	0.2566	0.5297	0.2480	-0.0746
pH	0.4397	0.1965	-0.0544	-0.0755	0.1445
MO	-0.0242	-0.4040	-0.0103	-0.4480	0.2108
N-t	0.1359	-0.2299	-0.2784	-0.2387	-0.2874
N-i	0.1787	-0.2199	0.5248	-0.0600	-0.0687
P	0.0255	-0.4314	0.1118	0.3047	0.2418
K	0.2839	-0.1554	-0.1295	0.3678	0.2081
Ca	0.2190	0.0947	-0.2690	0.4924	-0.1545
Mg	0.1859	-0.1250	0.1111	-0.0230	-0.7146
Fe	-0.3305	-0.2382	-0.2158	-0.0078	-0.3410
Cu	0.3514	-0.0183	0.2880	-0.0124	-0.2292
Zn	-0.0850	-0.4661	0.0650	0.2872	-0.0336
Mn	-0.3637	-0.1915	0.2368	0.1322	0.0562
B	0.2967	-0.2578	-0.1675	0.1528	0.0378

Valores significativos mayores a 0.4

Al correlacionar los cinco componentes principales con las variables explicativas (porcentaje de vegetación, año de apertura de la parcela, cantidad de abono y años de descanso) se obtuvo que ninguna de las prácticas presentan valores de *P* menores a

0.05 (Cuadro 12), es decir que ninguna de las prácticas de manejo se correlaciona de forma significativa con los componentes principales. En el caso de las prácticas de manejo de cantidad de abono y años de descanso presentan al menos la mitad de sus datos con valores de cero, lo cual influye para que se tengan valores de P no significativos. Respecto a los valores de correlación, casi todas presentan valores de r menores a 0.39. La práctica de años de descanso junto con el CP2 tienen el valor de r más alto (-0.54), aunque debido a su valor de P de 0.27 no se puede afirmar que la MO, P y Zinc (que se encuentran en el CP2) varían debido a los descansos. Por lo tanto al comparar el efecto de las prácticas de manejo nos percatamos que ninguna de ellas por sí sola explica el aumento o disminución de MO, macronutrientes o micronutrientes en las parcelas.

Cuadro 12. Análisis de correlación entre las prácticas de manejo y los componentes principales

	% de cobertura		Año de apertura		Cantidad de abono		Años de descanso	
	r	p	r	p	r	p	r	p
CP1	0.25	1.00	-0.01	1.00	-0.36	1.00	-0.14	1.00
CP2	0.16	1.00	0.01	1.00	0.16	1.00	-0.54	0.27
CP3	0.03	1.00	-0.06	1.00	-0.19	1.00	-0.06	1.00
CP4	0.39	1.00	-0.06	1.00	0.07	1.00	-0.37	1.00
CP5	0.20	1.00	0.38	1.00	-0.11	1.00	0.09	1.00

Parámetros significativos para cada componente, CP1: pH; CP2: MO, P y Zn; CP3: CIC y N-i; CP4: MO y Ca; CP5: Mg

5.6 Discusión

A pesar de que cada familia en San Luis Atlotitlán cuenta en promedio con casi 5 animales entre burros, vacas, borregos, etc. (Moreno-Calles *et al.*, 2012), solo el 50% recolecta su estiércol. Los ejidatarios no les dan ningún tratamiento a los abonos para su mejor aprovechamiento (excepto por el gabazo), y al dejarse a la intemperie se

pierden nutrientes por volatilización o lixiviación (Brady y Weil, 2008). Además mencionan que no los aplican todos los años y que la cantidad utilizada es poca en relación a la superficie de cultivo. En otras regiones áridas del mundo se ha intensificado el uso de abono como la principal práctica para aumentar la producción agrícola (Hoffman *et al.*, 2001; Bista *et al.*, 2010; Lekasi *et al.*, 2002). Posiblemente como mencionan los ejidatarios del SAFT milpa-chichipera la fuerza de trabajo y la situación económica sea un factor que este influyendo negativamente en su uso en la comunidad. La presencia de los potreros en casi la mitad de las parcelas es un factor que facilita la aplicación de abono, ya que permite que el ganado y por ende su orina y estiércol se queden en la parcela sin necesidad de transportarlo (Williams, 1999; Hoffman *et al.*, 2001). Por lo que es una práctica que deberían ocupar más ejidatarios, aún así es importante considerar que construir el potrero en la parcela es costoso y que la cantidad de ganado y su presencia dentro de la parcela varía entre ejidatarios. A pesar de que la aplicación de agroquímicos junto con abonos en algunas zonas áridas ha tenido resultados positivos en los ingresos de los campesinos (Place *et al.*, 2002; Place *et al.*, 2003), en San Luis Atolotitlán no se ocupan por los altos costos, el desconocimiento de su aplicación, y por la idea de que se necesitan buenas lluvias y que sólo funcionan para el año en que se aplican.

La práctica de descanso del suelo lo realiza la cuarta parte de los ejidatarios con descansos de 1 a 2 años, lo cual es insuficiente ya que para regiones áridas se debe dejar descansar el suelo de 20 a 45 años, dependiendo del tipo de suelo (Nair, 1993). El que poca gente descansa sus parcelas se pudiera deber a las presiones socioeconómicas para aumentar la producción agrícola (Hoffman *et al.*, 2001).

Además los ejidatarios que cuentan con más de una parcela, intensifican el uso de las más cercanas a su vivienda, mientras que las parcelas distantes son las que dejan descansar, por lo que sí solo se cuenta con una sola parcela es poco probable que la dejen descansar (Tittonell *et al.*, 2005b). Estos periodos extendidos de uso agrícola de la tierra y con descansos cortos pueden resultar en un descenso de la productividad agrícola y la degradación del suelo (Styger y Fernandes, 2006). Para tener un conocimiento preciso del uso de abonos y descansos es necesario realizar mediciones en las parcelas, de igual forma se necesitaría saber las razones socioculturales que han propiciado su uso o desuso.

En muchos lugares áridos la intensificación de la agricultura ha conllevado al incremento del área agrícola y a la pérdida de cobertura vegetal (Harris, 2002), en contraste el SAFT milpa-chichipera presenta al 90% de sus parcelas con una cobertura vegetal arriba del 25%, lo que las sitúa dentro del 5% de los sistemas agroforestales áridos de mayor cobertura vegetal en el mundo al tener un valor mayor a 20% (Zomer *et al.*, 2009). La tercera parte de los ejidatarios dependen de la fertilidad natural del suelo, por lo que la vegetación se vuelve un factor importante para el restablecimiento de la fertilidad ya que estudios previos demuestran la influencia positiva en zonas áridas de los árboles sobre la fertilidad del suelo (Weltzin y Coughenour, 1990; Campbell *et al.*, 1994;). Inclusive también para las parcelas que tienen descansos cortos y/o uso de abonos deficiente. El mecanismo de mayor importancia por parte de los árboles en regiones áridas es que pueden mejorar la fertilidad del suelo al incrementar la MO en el suelo (Campbell *et al.*, 1994), lo que

podría explicar el porque el 95% de las parcelas tengan valores adecuados de MO y que no se tengan valores bajos de MO como en la mayoría de este tipo de regiones (Celaya-Michel *et al.*, 2011; Ugboh y Ulebor, 2011). Para próximos estudios sería importante considerar por parte de la vegetación la cantidad de MO que aporta a las áreas agrícolas, el perímetro y las especies de plantas perennes que están en contacto con la milpa, y su relación con la productividad de cultivos.

La CE es baja de manera general en el SAFT milpa-chichipera, lo cual solo pudiera afectar a cultivos muy sensibles a la salinidad (Etchevers, 1988). La mayoría de los valores del CIC son altos, lo que favorece la retención e intercambio de cationes como K, Ca y Mg (Quiroga y Bono, 2012). El pH es de ligero a fuertemente alcalino (entre 7.4 y 8.8) lo cual disminuye la disponibilidad de ciertos elementos en el suelo (N, P, Fe, Mn, Cu y Zn) mientras más alcalino sea (Ankerman y Large, 1977; Azcón-Bieto y Talón, 2008). Sí comparamos los valores promedio de las parcelas (Cuadro 8) con la fertilidad de otros suelos de regiones áridas (Cuadro 13), nos percatamos que la MO, Ca y Mg supera a todos los valores de otras regiones, para el caso del N-i, P y K es inferior a todos, aunque P y K están en rangos adecuados. La carencia de N-i es una característica de las regiones áridas (Chapin *et al.*, 2002; Whitford, 2002) y el SAFT milpa-chichipera no es la excepción. Lo anterior contrasta con los valores altos de MO y N-t, por lo que suponemos que existe algún impedimento en el proceso de mineralización que afecta la presencia de N-i en el suelo, como por ejemplo el pH, la temporada de secas en que se realizó el muestreo, etc. (Celaya-Michel *et al.* 2011).

Cuadro 13. Fertilidad de suelo agrícola en regiones áridas de México

Referencia	Lugar	Sitio	MO %	N-i -----	P	K mg kg ⁻¹	Ca -----	Mg -----
Galindo <i>et al.</i> , 2003	Valle de Tehuacán	1	1.3	-	-	1131	2620	713.9
	Valle de Tehuacán	2	2.2	-	-	897	3580	617.1
	Valle de Tehuacán	3	1.2	-	-	468	2440	532.4
	Valle de Tehuacán	4	3.9	-	-	1170	4492	363.0
Lopez <i>et al.</i> , 2003	Desierto Vizcaíno	1	0.2	20.5	84.7	156	690	96.8
	Desierto Vizcaíno	2	0.5	65.7	52.4	1852	2980	1306.8
	Desierto Vizcaíno	3	0.7	72	43.1	1298	3640	1101.1
	Desierto Vizcaíno	4	0.3	43.6	48.2	936	920	544.5

El Ca y Mg se encuentra en todos los sitios en niveles altos, y como los rangos de suficiencia de macronutrientes es bastante amplio difícilmente ocurren problemas de intoxicación (Brady y Weil, 2008), aún así no se debe descartar posibles problemas de nutrición en los cultivos. También se debe poner atención en los niveles deficientes del Fe, Cu y Zn, ya que se pudieran expresar con síntomas o disminución de la productividad de las plantas (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Brady y Weil, 2008). Ahora bien, varios ejidatarios mencionan que la problemática en San Luis Atolotitlán son las lluvias, porque cuando cae agua el maíz se da muy bien, por ello se cree que las condiciones de los nutrientes en la actualidad todavía no son un factor que afecta la productividad de los cultivos.

El que no se haya encontrado diferencias entre las prácticas de manejo sobre el cambio de algún parámetro de fertilidad, indica que la fertilidad de cada una de las parcelas se encuentra influenciada por las diferentes prácticas de los ejidatarios y el tipo del suelo (Tittonell *et al.*, 2005a; Haileslassie *et al.* 2006). La presencia de vegetación en las parcelas es importante para mantener las condiciones del suelo,

pero no influye a tal grado de que se encuentren diferencias significativas sobre la presencia de algún parámetro de fertilidad. Es necesario realizar un análisis más preciso de la historia y del manejo de cada una de las parcelas, así como de su impacto en la fertilidad, para así poder determinar cual es el factor o factores que influyen en mayor medida en cada uno de los parámetros fisicoquímicos (Tittonell *et al.*, 2005a; Hailelassie *et al.* 2006). Una propuesta a destacar es que otros estudios consideraron a los tipos de ejidatarios de acuerdo a su situación socio-económica como factor que determina el conjunto de prácticas de manejo (cantidad de ganado, presencia de potrero, uso de agroquímicos o tamaño de parcela) y así explicar de mejor forma los cambios en los parámetros fisicoquímicos del suelo (Williams, 1999; Coorbels *et al.*, 2000; Tittonell *et al.*, 2005a; Zingore *et al.* 2007). Conforme se mantengan las presiones socioeconómicas en la comunidad, se verá más comprometida la presencia de vegetación, el uso de abonos y/o descansos, lo cual resultará en mayores problemas para restablecer la fertilidad del suelo (Coorbels *et al.*, 2000). Probablemente prácticas que fueron reportadas por un solo ejidatario como la rotación de cultivos y la aplicación de cenizas se están presentando o perdiendo debido a las mismas presiones (Coorbels *et al.*, 2000; Place *et al.*, 2003). Es importante el entedimiento de las prácticas de los ejidatarios y de la variación de la fertilidad del suelo, porque permite entender las estrategias de manejo, el uso de recursos y la producción agrícola (Hailelassie *et al.*, 2006; Ncube, 2007; Zingore *et al.*, 2007). Todo esto con la finalidad de que se mejore el manejo de la fertilidad del suelo desde una forma integral y adecuada respecto a las prácticas de la comunidad y

de las condiciones biofísicas (Coorbels *et al.*, 2000; Hoffman *et al.*, 2001; Ugboh y Ulebor, 2011).

VI. CONCLUSIONES

Las prácticas de manejo de abonos y de descansos son utilizados de forma irregular e insuficiente en el SAFT milpa-chichipera, mientras que las parcelas presentan una cobertura vegetal alta, lo cual esta teniendo un papel importante en el mantenimiento de las condiciones actuales de la fertilidad del suelo. La fertilidad del suelo en las parcelas es adecuada. Ninguna de las prácticas de manejo por sí sola explica los cambios de los parámetros fisicoquímicos del suelo, por lo que la fertilidad esta determinada por la interacción de otros factores no considerados en este estudio.

6.1 Perspectivas

Con toda la información generada en esta investigación se deben realizar talleres con los ejidatarios para que se percaten de las estrategias de manejo de la fertilidad llevadas a cabo en la comunidad y del impacto que tienen sobre el suelo, para así poder crear prácticas de manejo que mejoren las condiciones del área agrícola. También con las poblaciones aledañas que presentan el SAT milpa-chichipera se debe dar a conocer la importancia de la vegetación en un sentido amplio.

VII. LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. 1991. ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? Revista de CLADES. No. 1
- Altieri, M. A. 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in ecology and the environment*. 2: 35-42
- Altieri, M. A and C. I. Nicholls. 2005. Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture. United Nations Environment Programme. D.F., México. 290 pp.
- Anaya D. C. y G. Valera. 2000. Estudio integral del valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 137 pp.
- Ankerman, D. and R. Large. 1977. Soil and plant analysis. Agricultural Laboratories, I.N.C. Memphis. Memphis, USA.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid. España. Baldock, J. O. y E.E. Schult. 651 pp.
- Belsky, A. J., R. G. Amundson, J. M. Duxbury, S. J. Riha, A. R. Ali and S. M. Mwonga. 1989. *Journal of Applied Ecology*. 26 (3) 1005-1024
- Bista, P., R. Ghimire, S. C. Shah and K. R. Pande. 2010. Assessment of soilfertility management practices and their constraints in different geographic locations of Nepal. *Forum geographic*. 9: 41-48
- Blancas, J., A. Casas, S. Rangel-Landa, A. Moreno-Calles, I. Torres, E. Pére-Negrón, L. Solís, A. Delgado-Lemus, F. Parra, Y. Arellano, J. Caballero, L. Cortés, R.

- Lira and P. Dávila. 2010. Plant management in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Economic Botany*. 4: 287-302
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 2008. *The nature and properties of soils*. Pearson Prentice Hall. New Jersey, U. S. A. 965 pp.
- Breman, H. and J. J. Kessler. 1997. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *European Journal of Agronomy*. 7: 25-33
- Callaway, R. M. 1995. Positive interactions among plants. *The Botanical Review*. 61(4): 306-349
- Callaway, R. M. 1997. Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. *Oecología*. 112: 143-149
- Callaway, R. M. 2007. *Positive interactions and interdependence in plant communities*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 415 pp.
- Camargo-Ricalde, S.L. and S.S. Dhillion. 2003. Endemic Mimosa species can serve as mycorrhizal resource islands within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza*. 13: 129-136.
- Campbell, B. M., P. Frost, J. A. King, M. Mawanza and L. Mhlanga. 1994. The influence of trees on soil fertility on two contrasting semi-arid soil types at Matopos, Zimbabwe. *Agroforestry Systems*. 28: 159-172
- Cariño, M., L. Castorena, Y. Maya, J. Wurl, J. Urciaga y A. Breceda. 2012. Transformación de los ecosistemas áridos para su uso agrícola en Baja California Sur, México. Un análisis desde la historia ambiental. *Historia Agraria*. 56: 81-106
- Casas, A., A. Valiente-Banuet, J. L. Viveros, J. Caballero, L. Cortés, P. Dávila, R. Lira and I. Rodríguez. Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán valley, México. 2001. *Economic Botany*. 55: 129-166.

- Casas, A., S. Rangel-Landa, I. Torres-García, E. Pérez-Negrón, L. Solís, F. Parra, A. Delgado, J. J. Blancas, B. Farfán, y A. Moreno-Calles. 2008. *In situ* Management and Conservation of Plant Resources in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico: An Ethnobotanical and Ecological Perspective. Páginas 1–25 en U. P. De Albuquerque and M. Alves-Ramos, (eds). *Current Topics in Ethnobotany*. Research Signpost, Kerala, India.
- Celaya-Michel, H. y A. E. Castellanos-Villegas. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelode zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*. 29: 343-356
- Chapin, F. S., P. A. Matson and H. A. Mooney. 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer. New York, USA. 529 pp.
- Chávez-Servia, J.L., J. Tuxill y D.I. Jarvis. 2004. Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 255 pp.
- Cleaver, K. M. and G. A. Schreiber. 1994 Reversing the spiral. The population, agricultural and environmental nexis in sub-Saharan Africa. Washington, DC, USA: The World Bank.
- Coorbels, M., A. Shiferaw and M. Haile. 2000 Farmers' knowledge of soil fertility and local management strategies in Tigray, Ethiopia. *Managing Africa's Soils*. No. 10
- Colunga-García, M., E. Hernández-Xolocotzi y A. Castillo-Morales. 1984. Variación morfológica, manejo agrícola y grados de domesticación de *Opuntia* spp. en el Bajío Guanajuatense.
- Dávila, P., M. C. Arizmendi, A. Valiente-Banuet, J. L. Villaseñor, A. Casas and R. Lira. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation*. 11: 421-442

- Etchevers B., J. 1988. Interpretación de los análisis químicos de suelo. Documento mimeografiado (inédito). Centro de edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 16 p.
- Everitt, B. and T. Hothorn. 2011. An introduction to applied multivariate analysis with R. Springer. New York, United States. 273 pp.
- Granados-Sánchez, D., G. F. López-Ríos y J. Hernández-Hernández. 2004. Agricultura nhanñhu-otomí del Valle de Mezquital, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*. 22: 117-126
- Gobierno del Estado de Puebla. 2011. Programa regional de desarrollo 2011 – 2017 Tehuacán y Sierra Negra.
- Hoffmann, I., D. Gerling, U. S. Kyiogwom and A. Mané-Bielfeldt. 2001. Farmers' management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. *Agriculture, ecosystems and environment*. 86: 263-275
- Holm, S. 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*. 6:65-70.
- Haileslassie, A., J. A. Priess, E. Veldkamp and J. P. Lesseen. 2006. Smallholders' soil fertility management in the central highlands of Ethiopia: implications for nutrient stocks, balances and sustainability of agroecosystems. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. 75: 135-146
- Harris, E. 2002. Management of manure in farming systems in semi-arid West Africa. *Experimental Agriculture*. 38: 131-14
- Jama, B. and A. Zeila. 2005. Agroforestry in the drylands of eastern Africa: a call to action. World Agroforestry Center, Nairobi.
- Jock, R. A. and J. L. Dillon. 1992. Risk analysis in dryland farming systems. *Farm Systems Management Series (FAO)*. No. 2.

- Koohafkan, P. and B. A. Stewart. 2008. Water and cereals in drylands. The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Earthscan. 105 pp.
- Krebs, C. J. 2013. Ecological methodology. Third Edition. Published by benjamin cummings. 745 pp.
- Krishnamurthy, L. y M. Ávila. 1997. Agroforestería básica. Red de información ambiental. México. 377 pp.
- Lekasi J. K., J. C. Tanner, S. K. Kimani and P. J. C. Harris. 2001. Manure management in the Kenya Highlands: practices and potential. Natural Resources Systems Programme, UK Department for International Development (DFID) and Henry Doubleday Research Association (HDRA), 2 Edition. Kenilworth, UK. 40 pp.
- Lekasi, J. K., J. C. Tanner, S. K. Kimani and P. J. C. Harris. 2002. Manure management methods to enhance nutrient quantity and quality on smallholdings in the centrl Kenya highlands. Biological Agriculture and Horticulture. 19: 315-332
- López, R., E. Villavicencio-Floriani, M. A. Real-Rosas, J. Ramírez-Barajas y B. Murillo-Amador. 2003. Macronutrimientos en suelos de desierto con potencial agrícola. Terra Latinoamericana. 21: 333-340
- López-Galindo, F., D. Muñoz-Iniestra, M. Hernández-Moreno, A. Soler-Aburto, M. C. Castillo-López e I. Hernández-Arzate. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 1: 19-41
- Maya, Y., R. Coria, R. Domínguez, L. Arriaga, R. Rodríguez-Estrella. 1997. Caracterización de los oasis. Los oasis de la Península de Baja California. Centro de Investigaciones 1270 Biológicas, La Paz. pp 5–25

- Mengesha, H. 1996. Indigenous agricultural knowledge and agricultural practices in central Tigray. In: AO Oyhus & G Gebru (eds), Rural exploratory studies in the central zone of Tigray, Ethiopia. Addis Adaba, Ethiopia. pp 19-33.
- Mordelet, P., L. Abbadie and J. C. Menaut. 1993. Effects of tree clumps on soil characteristics in a humid savanna of West Africa. *Plant and Soil*. 153: 103-111
- Moreno-Calles, A. I. y A. Casas. 2008. Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del valle de Tehuacán, México. *Zonas Áridas*. 12: 13-35.
- Moreno-Calles, A. I. and A. Casas. 2010. Agroforestry systems: restoration of semiarid zones in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Ecological restoration*. 38:361-368
- Moreno-Calles, A. I., A. Casas, J. Blancas, I. Torres, O. Maserá, J. Caballero, L. García-Barrios, E. Pérez-Negrón and S. Rangel-Landa. 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán Valley, Central México. *Agroforestry systems*. 80: 315-331
- Moreno-Calles, A. I., A. Casas, I. Torres-García and E. García-Frapolli. 2012. Traditional agroforestry systems of multicrop milpa and chichipera cactus forest in the arid Tehuacán Valley, México: Their management and role in people's subsistence. *Agroforestry systems*. 84: 207-226
- Moreno-Calles, A. I., V. M. Toledo y A. Casas. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*.
- Nair, P. K. R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer academic publishers. The Netherlands. 499 pp

- Ncube, B. 2007. Understanding cropping systems in the semi-arid environments of Zimbabwe: options for soil fertility management. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 168 p.
- Ong, C. K. and P. Huxley. 1996. Tree crop interactions: A physiological approach. CAB International. Wallingford, UK. 386 pp
- Ong, C. K. and R. R. B. Leakey. 1999. Why tree-crop interactions in agroforestry appear at odds with tree-grass interactions in tropical savannahs. *Agroforestry systems*. 45: 109-129
- Pacheco, M. 1980. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. UCV-agro. Maracay, Venezuela. 112 pp.
- Palerm, J.V. 1997. La persistencia y expansion de sistemas agrícolas tradicionales: El caso de huamil en el bajo mexicano. *Monografía Jardín Botánico de Córdoba*. 5:121-133
- Parr, J. F., B. A. Stewart, S. B. Hornick and R. P. Singh. 1990. Improving the sustainability of dryland farming systems: a global perspective. *Advances in soil science*. 13: 1-8
- Place, F., S. Franzel, J. Dewolf, R. Rommelse, F. Kwesiga, A. Niang and A. Jama. 2002. Agroforestry for soil fertility replenishment: evidence on adoption processes in Kenya and Zambia. *Natural resources management in African agriculture: understanding and improving current practices*. 155-168.
- Pretty, J. N. 1995. Regenerating agriculture: policies and practice for sustainability and self-reliance. Joseph Henry Press. Londres, England. 296 pp.
- Palm, C. A., M. J. Swift and P. L. Woome. 1996. Soil biological dynamics in slash and burn agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 58: 61-74.

- Perroni-Ventura, Y. 2007. Islas de fertilidad en un ecosistema semiárido: nutrientes en el suelo y su relación con la diversidad vegetal. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología, A. C., México. 100 pp.
- Perroni-Ventura, Y., C. Montaña, and F. García Olivares. 2010. Carbon-nitrogen interactions in fertility island soil from a tropical semi-arid ecosystem. *Functional Ecology*. 24: 233-242.
- Powell, J. M. and T. O. Williams. 2003. Livestock, nutrient cycling and sustainable agriculture in the West African Sahel. *International Institute for Environment and Development*. 37: 2-12
- Quinn, J. P. and M. Keough. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge university press. New York, United States. 537 pp.
- Quiroga, A. y A. Bono. 2012. *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. EEA Anguil INTA. Publicación Técnica número 89. 230 pp.
- Rao, M. R., P. K. R. Nair and C. K. Ong. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry systems*. 38: 3-50.
- Reynolds, J. F., F. T. Maestre, E. Huber-Sanwald, J. Herrick and P.R. Kemp. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. *Ecosistemas* 14 (3): 3-21
- Rhoades, C. C. 1997. Single-tree influences on soil properties I agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems*. 35: 71-94
- Ryan, J. G. and D. C. Spencer. 2001. Future challenges and opportunities for agricultural R & D in the semi-arid tropics. India. International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics. 83 p.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of phanerogamic flora of Mexico. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot. A. and J. Fa (Eds). *Biological diversity*

of Mexico: Origins and distribution. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom. pp 129-144.

Sanchez, P. A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry systems*. 30: 5-55

SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Disponible en: [//www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf). Consultada el 20 de Octubre del 2013.

Stocking, M. y N. Murnaghan. 2001. Handbook for the field assessment of land degradation. Earthscan. London, UK.

Styger, E and E. C. M. Fernandes. 2006. Contributions of managed fallows to soil fertility recovery. In: Uphoff N, Ball AS, Fernandes E, Herren H, Husson O, Laing M, Palm C, Pretty J, Sanchez PA, Sanginga N, Thies JE (eds). *Biological approaches to sustainable soil systems*. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton. pp 425–437

Tiessen, H., I. H. Salcedo. and V. S. B. Sampaio. 1992. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 38: 139-151.

Tittonell, P., B. Vanlauwe, P.A. Leffelaar, K.D. Shepherd and K. E. Giller. 2005a. Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya II. Within-farm variability in resource allocation, nutrient flows and soil fertility status. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 110: 166-184.

Tittonell, P., B. Vanlauwe, P.A. Leffelaar, E. C. Rowe and K.D. Shepherd. 2005b. Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in

- western Kenya I. Heterogeneity at region and farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 110: 149-165
- Toledo, V. M., B. Ortiz-Espejel, L. Cortés, P. Moguel and M. D. J. Ordoñez. 2003. The multiple use of tropical forests by indigenous people in Mexico: a case of adaptive management. *Conservation Ecology*. 7(3): 9
- Toledo, V. M. y N. Barrera-Bassols. 2008. La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial. Barcelona, España. 320 pp
- Torres, I. 2004. Aspectos ecológicos y etnobotánicos de los recursos vegetales en el Valle de Tehuacan-Cuicatlán. Tesis de Licenciatura. UMSNH. Morelia, Michoacán, México.
- Ugboh, O. and J. U. Ulebor. 2011. Application of integrated soil fertility approach in the improvement of soil fertility in semi arid ecology. *Journal of Agricultura and Social Research*. 11: 81-86
- Vallejo, M., A. Casas, J. Blancas, A. I. Moreno-Calles, L. Solís, S. Rangel-Landa, P. Dávila y O. Téllez. 2014. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation. *Agroforestry systems*. 88: 125-140
- Valiente-Banuet, A., P. Dávila, A. Casas, M. C. Arizmendi, y J. Ortega-Ramírez. 2006. Diversidad biológica y desarrollo sustentable en la reserva de la biosfera Tehuacán Cuicatlán. In: Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México. K. Oyama y A. Castillo (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México. pp 248-277.
- Van Keulen, H. and H. Breman. 1990. Agricultural development in the West African Sahelian region: a cure against land hunger? *Agric. Ecosyst. Environ*. 32: 177-197

- Weltzin, J. F. and M. B. Coughenour. 1990. Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science*. 1: 325-334
- Whitford, D. T. and J. Pastor. 1993. Nitrogen mineralization dynamics in grass monocultures. *Oecología*. 96: 186-192
- Williams, T. 1999. Factor influencing manure application by farmers in semi-arid west Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 55: 15-22
- Young, A. 1997. *Agroforestry for soil managemet*. CAB International. Wallingford, United Kingdom. 276 pp.
- Zingore, S., H. K. Murwira, R. J. Delve and K. E. Giller. 2007. Influence of nutrient management strategies on variability of soil fertility, crop yields and nutrient balances on smallholder farms in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 119: 112-126
- Zomer, R. J., A. Trabucco, R. Coe and F. Place. 2009. *Trees on farm: Analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry*. ICRAF Working Center. Nairobi, Kenya. 89 pp.

VIII. ANEXO

8.1 Anexo 1. Guía de entrevista de las prácticas agrícolas y agoforestales que llevan a cabo en San Luis Atlotitlán, Puebla.

Fecha de entrevista:

Localidad:

Tipo de cobertura:

Nombre del productor:

Edad:

Número de parcela:

I. Historia de la parcela

1. ¿Recuerda en qué año abrieron la parcela?
2. ¿Qué tipo de plantas había antes de abrirla?
3. ¿Cuándo se abre una parcela, cómo se hace esto?
4. ¿Cómo selecciona los lugares de cultivo en la parcela?
5. ¿Cuándo la abrieron dejaron árboles o monte en ella?
6. A quién perteneció antes la parcela
7. Qué cultivos ha sembrado en ella

II. Manejo de la parcela

8. Su parcela tiene tanque para almacenar agua
9. Poda los árboles para que no le estorben a la milpa
10. ¿Qué actividades hace para preparar el suelo antes de la siembra?

11. Considera que si hay más árboles alrededor o dentro de la milpa, el suelo está mejor para el maíz ¿Por qué?

12. Hay algunos árboles ó matojos que deja en la parcela para qué el maíz dé mejor

13. ¿Tiene potrero en su parcela?

14. Manejo de ganado

Ganado	Cantidad	Meses de pastoreo libre en el monte	Meses que restan del año	Ubicación resto del año	Alimentación resto del año

15. Manejo de abonos o fertilizante

Abono	Cantidad	Obtención	Almacenamiento y composteo	Momento de aplicación	Lugar de aplicación

16. Después de cosechar deja en el suelo restos de algún cultivo

17. ¿Qué hace cuándo la milpa produce menos maíz que años anteriores?

18. ¿Qué opina de los fertilizantes químicos?

19. ¿Siempre ha trabajado la parcela de la misma forma?

20. Sembró la parcela este año

III. Descanso del área de cultivo

21. Deja descansar las áreas de cultivo
22. ¿Cuántos años deja descansar el suelo? ¿Por qué ese tiempo?
23. Hay algo que le indique ¿cuándo debe dejar descansar la tierra? Por ejemplo el maíz
no da igual o la tierra se pone más dura
24. ¿Cuántos años trabaja los lugares de cultivo dentro de la parcela?
25. ¿Siempre la ha dejado descansar el mismo tiempo?
26. Siembra plantas en las áreas de descanso
27. ¿Cuáles y cuántas plantas siembra cuando el suelo está descansando?
28. Después de dejar descansar el suelo cómo limpia el lugar para poder trabajarlo