



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA, FÍSICA Y DE
FERTILIDAD DE UN SUELO DE LADERA MANEJADO CON
EL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES
FRUTALES DURANTE CINCO AÑOS**

REMEDIOS SALINAS SÁNCHEZ

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TÉXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

2015

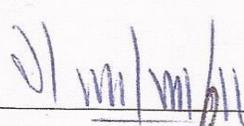
La presente tesis titulada: **Caracterización topográfica, física y de fertilidad de un suelo de ladera manejado con el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales durante cinco años**. Realizada por el alumno: **Remedios Salinas Sánchez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. VICTOR HUGO VOLKE HALLER

DIRECTOR DE TESIS:



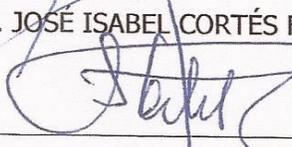
DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES

ASESOR:



DR. CARLOS ALBERTO ORTIZ SOLORIO

ASESOR:



M.C. JOSÉ DONALDO RÍOS BERBER

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2015

RESUMEN

CARACTERIZACIÓN TOPOGRÁFICA, FÍSICA Y DE FERTILIDAD DE UN SUELO DE LADERA MANEJADO CON EL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES DURANTE CINCO AÑOS

Remedios Salinas Sánchez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

En el estado de Oaxaca se practica la agricultura de ladera en pendientes abruptas, para producir los alimentos básicos, maíz y frijol, bajo los sistemas tradicionales milpa o de roza-tumba-quema. Esta agricultura no contempla la protección del suelo contra la erosión hídrica, dando lugar al deterioro de la calidad del mismo. Ante esta problemática, el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) se ha planteado como alternativa para el manejo de estas laderas. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar la topografía del terreno y las propiedades físicas y químicas del suelo en una ladera manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe del estado de Oaxaca. Para lo cual se realizó un levantamiento topográfico y muestreo del suelo en diciembre de 2013. La parcela experimental comprendió tres subexperimentos [maíz, frijol y árbol frutal (durazno)] con dos repeticiones; en los cuales se estudiaron dosis de N, P, K y densidad de población o dosis de fertilización química y orgánica. Se analizaron 10 de los 26 tratamientos originales en cada subexperimento. La topografía interna de la parcela se modificó al formarse terrazas. Se encontraron diferencias en densidad aparente, humedad al momento del muestreo y partículas del suelo, sin modificación de la clase textural ($p \leq 0.05$). Las características químicas del suelo se modificaron mostrando un gradiente de concentración por sitio de muestreo, hallándose diferencia de 0.06 %, 28.81 mg kg⁻¹, 0.27 (Cmol (+) kg⁻¹), 27.25, 0.80, y 0.60 mg kg⁻¹ en N, P, K, Fe, Cu, y Zn, respectivamente.

Palabras clave: agricultura en laderas, suelo, MIAF, características físicas y químicas del suelo, topografía del suelo.

ABSTRACT

TOPOGRAPHICAL, PHYSICAL AND FERTILITY CHARACTERIZATION OF A HILLSIDE SOIL MANAGED IN A SYSTEM OF MILPA INTERCROPPED IN FRUIT TREES DURING FIVE YEARS

Remedios Salinas Sánchez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015

In the state of Oaxaca, agriculture is practiced on hillside soils with steep slopes to produce basic food, like maize and beans, under traditional milpa or slash-and-burn systems. These practices do not consider agricultural soil protection against erosion by water, resulting in deterioration of the soil quality. To deal with this problem, the system of milpa intercropped with fruit trees (MIFT) has been proposed as a sustainable alternative to manage these agricultural slopes. The aim of this study was to characterize the topographical, and the physical and chemical properties of a hillside soil on a MIFT system managed during five years in the Mixe region of the Oaxaca state. Topographic studies and soil sampling were carried out in December, 2013. The experimental plots comprised three sub-experiments [maize, beans and tree fruit (peach)] with two repetitions; in which doses of N, P, K and population density or doses of chemical and organic fertilizations were studied. Ten of the original 26 treatments in each sub-experiment were analyzed. The internal topography of the plot was modified to form terraces. Differences in bulk density, moisture at the time of sampling and soil particles were found, without changes in the texture class of the soil ($p \leq 0.05$). The chemical soil characteristics were changed, showing a concentration gradient by sampling site and finding differences of 0.06 %, 28.81 mg kg⁻¹, 0.27 (Cmol (+) kg⁻¹), 27.25, 0.80, and 0.60 mg kg⁻¹ in N, P, K, Fe, Cu, and Zn, respectively.

Key words: agriculture on hillside, soil, MIFT, physical and chemical soil characteristics, soil topography.

DEDICATORIAS

A mis padres, Donato Salinas Sánchez y Elia Sánchez Zarate por otorgarme el don de la vida, cariño y comprensión en todo momento.

A mi novia, Teresa Castillo Martínez por todo el amor brindado y el apoyo incondicional en todo momento, pero sobre todo por la paciencia que me tienes.

A mis Hermanos, Eva, Gabriela, Ramón y Norberto por su apoyo moral para poder lograr todas mis metas.

A mis sobrinos, María de Jesús, Bredeng, Betzait, Rony, Miguel Eduardo, Areli Misar y Fredy Salomón por su cariño en todo momento.

A la memoria de mis abuelos, Galdino Salinas, Ambrosia Sánchez, Heliodoro Sánchez y Constanza Zarate por sus sabios consejos.

A todos los compañeros y amigos del Postgrado de Edafología.

Con todo mi cariño, Remedios Salinas Sánchez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, permitirme realizar estos estudios y culminar con una gran satisfacción.

Al Postgrado de Edafología del Colegio de Postgraduados por la oportunidad y las facilidades brindadas durante mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México por el apoyo económico para poder realizar mis estudios de maestría y culminar la presente investigación.

Al Dr. José Isabel Cortés Flores y al Dr. Víctor Hugo Volke Haller, por compartir sus conocimientos, guiarme en todo momento y ser excelentes consejeros. Muchas gracias por su tiempo y esfuerzo para poder llevar a cabo esta investigación.

Al Dr. Antonio Turrent Fernández, Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio y al MC. José Donaldo Ríos Berber, por su apoyo y consejos para el buen desarrollo de mis estudios y trabajo de investigación.

A los compañeros y amigos que me apoyaron en mi investigación tanto en campo como en laboratorio.

Sinceramente, Remedios Salinas Sánchez

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
2.1 Objetivos.....	4
2.2 Hipótesis.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1 Localización del sitio experimental	12
4.2 Diseño experimental	15
4.3 Caracterización de la fertilidad del suelo	17
4.3.1 Muestreo del suelo	17
4.3.2 Análisis de laboratorio	18
4.4 Caracterización de la topografía del terreno	19
4.5 Análisis estadísticos.....	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1 Características físicas del suelo	22
5.2 Características químicas del suelo	26
5.3 Características topográficas del terreno	32
VI. CONCLUSIONES	37
VII. LITERATURA CITADA.....	38

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización seleccionadas del experimento MIAF original para el presente estudio.	15
Cuadro 2. Descripción de los sitios de muestreo de la parcela experimental MIAF.	17
Cuadro 3. Efecto del sitio de muestreo en las características físicas del suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	22
Cuadro 4. Efecto de la dosis de fertilización en las características químicas del suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	27
Cuadro 5. Efecto del sitio de muestreo en las características químicas del suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Módulo básico del sistema agrícola Milpa Intercalada con Árboles Frutales en terrenos con pendientes pronunciadas (20 a 40 %).	12
Figura 2. Macrolocalización del sitio de estudio en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec, región Mixe, Oaxaca.....	13
Figura 3. Microlocalización del sitio de estudio en la ranchería Santa Cruz, Santa María Tlahuitoltepec, Oaxaca.....	14
Figura 4. Posición de los sitios de muestreo en el Módulo MIAF, Santa María, Tlahuitoltepec, Oaxaca.....	16
Figura 5. Posición de los puntos de lectura topográfica en una sección transversal del terreno.	20
Figura 6. Contenido de humedad (Hum) y densidad aparente (Da) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	24
Figura 7. Contenido de arena (A), limo (L) y arcilla (R) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	25
Figura 8. Relación de la concentración de arena y arcilla en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca. .	26
Figura 9. Contenido de materia orgánica (MOS) y pH en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	29
Figura 10. Contenido de materia orgánica (MOS) y nitrógeno (N) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	30

Figura 11. Contenido de fósforo (P) y potasio (K) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	30
Figura 12. Contenido de cobre (Cu), Zinc (Zn) y Hierro (Fe) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	31
Figura 13. Esquematización de un corte transversal de la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	32
Figura 14. Plano de la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.	34
Figura 15. Curvas a nivel (m) de la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.....	35
Figura 16. Esquematización de los movimientos de suelo en la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca. .	36

I. INTRODUCCIÓN

En México existen 145 millones de hectáreas dedicadas a la actividad agropecuaria, de las cuales cerca de 30 millones de hectáreas son tierras de cultivo (FAO, 2009). El 82 % de la superficie agrícola es de temporal (INEGI, 2007), la cual produce el 70 % de maíz y el 60 % del frijol a nivel nacional, en unidades de producción con menos de 5 ha de superficie divididas en varios predios. La agricultura es la actividad primordial, sobre todo entre la población más pobre, representando el 42 % del ingreso familiar (SAGARPA, 2004).

En el estado de Oaxaca se practica la agricultura de temporal en cerca de 73 mil hectáreas dedicadas a la milpa (Cruz *et al.*, 2005; Ruíz *et al.*, 2012), en laderas con pendientes mayores a 20 % (Cruz *et al.*, 2005; Camas *et al.*, 2012; Ruíz *et al.*, 2012). Aproximadamente el 70 % de las unidades de producción cultiva la tierra utilizando la tecnología de roza-tumba-quema (RTQ) y milpa permanente (Cruz *et al.*, 2005; Ruíz *et al.*, 2012). En estos sistemas agrícolas se producen los alimentos básicos, como maíz, frijol y calabaza, con rendimientos de maíz que varían de 400 a 700 kg por hectárea (Cortés *et al.*, 2010), abasteciendo las necesidades familiares solo por siete meses (Ruíz *et al.*, 2012). Este nivel de producción no refleja el potencial de producción de la región, debido a la erosión hídrica del suelo que ocasiona ineficiencia en el uso del agua de lluvia (Cortés *et al.*, 2010; Camas *et al.*, 2012), con la consecuente pérdida de la capa arable, disminución de la fertilidad del suelo y del rendimiento, hasta el grado de hacer improductiva a la ladera, además, de una muy baja productividad de la mano de obra (Parra *et al.*, 1993; Camas *et al.*, 2012). La

erosión acelerada en los suelos de ladera roturados conduce a la degradación, lo que implica cambios adversos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Uribe *et al.*, 2000). Estas características de las unidades de producción fueron referencia fundamental para el diseño de tecnologías alternativas, que tomó como punto de partida el sistema agrícola milpa, con sus implicaciones ecológicas, sociales y económicas, para la ejecución del Proyecto Manejo Sustentable de Laderas (PMSL) (Cortés *et al.*, 2010).

Los árboles frutales tienen la capacidad de estabilizar el suelo y controlar la erosión hídrica, así como la captura de carbono, atributos importantes para el desarrollo del sistema agrícola Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) adaptado a laderas abruptas (Cortés *et al.*, 2010; Santiago *et al.*, 2008). El sistema MIAF se derivó de investigación de la agricultura tradicional del altiplano y trópico sub-húmedo mexicano y de la agricultura en laderas en el PMSL en las regiones Cuicateca, Mazateca y Mixe del estado de Oaxaca (Cortés *et al.*, 2010; Ruíz *et al.*, 2012). En el PMSL entre los problemas a solucionar, fueron la degradación del ambiente, la producción insuficiente de granos básicos e ingresos familiares insuficientes (Cortés *et al.*, 2004).

El sistema MIAF, tiene la característica de aprovechar las relaciones complementarias entre las especies anuales (maíz y frijol) y los árboles frutales, en cuanto al aprovechamiento integral del suelo, el agua, la luz solar, la mano de obra familiar y la captura de carbono (Cortés *et al.*, 2010). El sistema MIAF es un sistema agrícola de producción diversificada que proviene del patrón tradicional que poseen

los pequeños agricultores (Mendoza *et al.*, 2006), diseñado para diversificar e incrementar la producción agrícola; la combinación entre especies perennes y anuales que permiten conformar una estructura vegetal ordenada en el espacio y tiempo (Juárez y Fragoso, 2014), y como una forma de defensa frente a riesgos de clima y mercado (Mendoza *et al.*, 2006).

En este sistema, los árboles frutales ocupan entre el 33 % y el 42 % del terreno cultivado, en áreas planas y de laderas, respectivamente; el resto de la superficie se destina al cultivo de maíz y frijol (Cortés *et al.*, 2004, 2005). Tanto los árboles frutales como el maíz y el frijol benefician al suelo: los árboles frutales aportan hojarasca, forman un muro vivo que sirve de cortina rompevientos, ayudan a la captura y secuestro de carbono, fungen como soporte para el filtro de escurrimientos, componente clave para el control de la erosión, la formación de terrazas, mejora de la infiltración y el desarrollo de micro y macroorganismos benéficos que propician el reciclaje de nutrientes; y los cultivos anuales cuando se trata de leguminosas, pueden adicionar N mediante la fijación de N atmosférico. Adicionalmente los árboles frutales extraen nutrientes localizados a mayor profundidad del suelo, que las anuales no pueden aprovechar, y de esta manera se instaura un sistema de reciclaje dinámico vertical, espacial y temporal (Juárez y Fragoso, 2014). Por lo cual, un aspecto de sostenibilidad ecológica atribuido al sistema MIAF es la minimización del proceso erosivo de los suelos de ladera (Camas *et al.*, 2012).

Por lo anterior es importante caracterizar física, química y topográficamente el suelo dentro del sistema MIAF, lo cual servirá para sustentar la efectividad del sistema y darle un enfoque óptimo a las prácticas agrícolas en la agricultura de ladera.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

Estudiar los cambios físicos y químicos de un suelo de ladera manejado con el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales durante cinco años que pudieran favorecer la productividad del agrosistema.

Caracterizar los cambios topográficos del terreno de ladera manejado con el Sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales durante cinco años.

2.2 Hipótesis

El sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales al modificar la topografía del terreno, origina cambios positivos en las características físicas y químicas del suelo.

La fertilización en el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales origina cambios en las propiedades químicas del suelo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

El suelo es un cuerpo natural constituido por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que se desarrolla en la superficie terrestre. Una de sus características desde el punto de vista agronómico es la capacidad de anclar a los cultivos, así como suministrarles agua, aire y nutrimentos esenciales para la producción de cosechas (Fassbender y Bornemisza, 1994; Navarro y Navarro, 2003; Soil Survey Staff, 2006).

Un suelo fértil es aquel con propiedades físicas, químicas y biológicas en las proporciones óptimas o ligeramente arriba o debajo de los contenidos más adecuados (NOM-021-RECNAT, 2000). La evaluación de la fertilidad del suelo es útil para determinar su potencial productivo, identificar los factores edáficos que pueden limitar dicho potencial, y establecer el efecto de diversas prácticas de manejo en la dinámica nutrimental edáfica (Castellanos *et al.*, 2000); además, se requiere conocer la disponibilidad de los nutrimentos y presencia de elementos tóxicos (Peck *et al.*, 1977; Vergara *et al.*, 2005). Entre mejor se conozcan las propiedades físicas y químicas de los suelos, permitirá elaborar e implementar programas de aplicación de fertilizantes (químicos u orgánicos) que resulten rentables y ambientalmente aceptables. En consecuencia, se podrán manejar los cultivos para obtener mayores beneficios, sin degradar el recurso suelo (Castellanos *et al.*, 2000; Salgado *et al.*, 2013).

Hoy en día, uno de los principales problemas en escala global es el rápido aumento de la demanda de alimentos, al punto de que la productividad per cápita está

empezando a declinar. Esta demanda es paralela al crecimiento de la población, que crece a un ritmo de alrededor de un cuarto de millón de personas cada día (Pimentel *et al.*, 1995). Ello ha conllevado a abrir más tierras forestales para destinarlos a la agricultura; sin embargo, no se han utilizado las técnicas adecuadas para la producción y el uso de la tierra no ha sido planificado, los cuales se consideran como factores fundamentales de la erosión del suelo (Ustun, 2008) .

La erosión del suelo es un proceso natural que afecta a todas las formas de relieve. En la agricultura, la erosión del suelo se refiere a la pérdida de la capa superficial del suelo por acción del agua, viento y/o labranza, y por el mal manejo del pastoreo de los animales implica tres acciones distintas: desprendimiento del suelo, movimiento y depositación. La capa superficial del suelo que es alta en contenido de materia orgánica y nutrientes, se va perdiendo (Inman y Tamar Consulting, 2006; Ritter y Eng, 2012; FAO, 2015a). La mayoría de las tierras de labor, altamente susceptibles a la erosión hídrica, son casi siempre cultivadas por los campesinos en condiciones económicas de subsistencia, que generalmente disponen de menos de cinco hectáreas, donde producen maíz y frijol, con ayuda de tracción animal para la labranza y el cultivo, con escasa educación formal y posibilidades económicas (Laird, 1991).

La erosión del suelo puede ser un proceso lento, relativamente desapercibido o puede ocurrir a un ritmo acelerado. La compactación del suelo, el bajo contenido de materia orgánica, el deterioro de la estructura del suelo, problemas de drenaje, la salinización y la acidez del suelo son condiciones graves de degradación del suelo

que pueden acelerar la erosión. El aumento de los fenómenos meteorológicos por efecto del cambio climático, incrementará la erosión por efecto del agua de lluvia y la erosión eólica (Ritter y Eng, 2012).

La erosión del suelo es una importante amenaza para la sostenibilidad y la capacidad productiva de la agricultura (Pimentel *et al.*, 1995); tiene impactos sociales, económicos y ambientales significativos (Inman y Tamar Consulting, 2006). La erosión del suelo proporciona efectos tanto in situ como ex situ. La pérdida de productividad del suelo, suele ser el principal efecto in situ, mientras que el aumento de la productividad en los suelos al pie de las laderas, la sedimentación y eutrofización de los cuerpos y reservas de agua son efectos comunes ex situ. Los costos de la erosión del suelo suele ser difíciles de estimar debido a que los efectos in situ son a menudos compensados por el uso de fertilizantes, reemplazando las pérdidas de productividad, y los costos de los bienes y servicios ambientales dependen del punto de vista de quien los valore (FAO, 2015b).

Durante los últimos 40 años, casi un tercio de las tierras cultivables del mundo se han perdido por la erosión y se siguen perdiendo a un ritmo de más de 10 millones de hectáreas cada año. Los costos totales de efectos in situ y ex situ causados por daños de erosión eólica e hídrica, junto con los costos de prevención cada año en los EE.UU. ascienden a 44,399 millones de dólares (Pimentel *et al.*, 1995).

Los suelos de ladera están sujetos a un proceso natural de erosión-sedimentación, el cual se intensifica con las prácticas de la agricultura sedentaria que no contemplan periodos de descanso para recuperar la fertilidad y mejorar la estructura del suelo

(Uribe *et al.*, 2000). SEMARNAT (2012), para el año 2002 reportó 20.7 millones de hectáreas con algún grado de erosión hídrica en México, mientras que para el año 2012 ascendió a 22.73 millones de hectáreas, de las cuales el 56.4 % con un grado ligero de erosión, 39.7 % con un nivel moderado y el 3.9 % entre fuerte y extremo; en el estado de Oaxaca para el año 2012 se reportó 1.67 millones de hectáreas afectadas por la erosión hídrica.

Para disminuir la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica y el escurrimiento superficial se han desarrollado y puesto en práctica diversas tecnologías; en la actualidad se destaca la agricultura de conservación. Ésta es una tecnología que plantea la no roturación del suelo, dejar los residuos de la cosecha en la superficie del suelo y la rotación diversificada de cultivos. A esta práctica se le atribuye la disminución de la pérdida de suelo hasta en un 80 %, la lixiviación de nutrimentos en un 73 % y los escurrimientos superficiales en un 76 %, en relación con la labranza tradicional (Tiscareño *et al.*, 1997). Por lo tanto la agricultura de conservación se ha considerado como una práctica efectiva en la conservación del suelo y agua que disminuye el escurrimiento, y retienen los sedimentos y nutrimentos. Los sistemas agroforestales también pueden reducir la erosividad de la lluvia y el escurrimiento debido a la presencia de múltiples capas de dosel vegetal que disminuye considerablemente la velocidad de la caída de las gotas de lluvia y la severidad de su impacto en el suelo (Nair *et al.*, 1994).

En terrenos de ladera cultivados con maíz en la Frailesca, Chiapas, con una precipitación de 1,434 mm, Ramírez y Oropeza (2001) determinaron una pérdida de

7.9 t ha⁻¹ de suelo manejado con sistema de labranza tradicional, 2.9 t ha⁻¹ de pérdida de suelo con barrera viva de *Gliricidia sepium* con surcado al contorno y de 2.4 t ha⁻¹ en labranza de conservación. Uribe *et al.*, (2002) determinaron pérdidas anuales de suelo de 199 t ha⁻¹ en labranza tradicional, 13 t ha⁻¹ en terrazas de muro vivo con setos y tracción mecánica, 3 t ha⁻¹ en terrazas de muro vivo con tracción animal y 1 t ha⁻¹ en labranza de conservación. En cuanto a nutrientes, reportaron pérdidas de nitratos, K, Ca y Mg de 23, 19, 21 y 25 kg ha⁻¹, respectivamente, por lo cual concluyen que la labranza de conservación y la terraza de muro vivo reducen la erosión; sin embargo, su eficacia fue menor para disminuir la pérdida de nutrientes solubles en el agua de escurrimiento.

En un suelo Entisol con 14.6 % de pendiente en los Tuxtlas, Veracruz, Francisco *et al.* (2006) determinaron pérdidas de suelo en t ha⁻¹ año⁻¹ durante siete años (1995-2002) en cuatro sistemas de manejo, obteniendo valores de 0.85 en labranza de conservación, 2.16 en terraza de muro vivo con tracción animal, 9.62 en terraza de muro vivo con tracción mecánica y 146.24 en labranza tradicional con quema de rastrojos y roturación mecánica, y la relación erosión-productividad fue de 0.2, 0.4, 2.3 y 35.5 t de suelo perdido por t de maíz producido, respectivamente. López y Anaya (1994), evaluaron el impacto de la erosión sobre la productividad del maíz en laderas durante siete años en la Frailesca, Chiapas. El rendimiento pasó de 4.1 a 2.6 t ha⁻¹, lo que equivale a un 63.4 %, representando una pérdida anual de 0.2 t ha⁻¹; el detrimento en la productividad se le atribuyó a la disminución en el contenido de potasio, materia orgánica, conductividad hidráulica y a un aumento en la densidad aparente.

No obstante que se ha demostrado que estas tecnologías son eficaces en el control de la erosión, mantenimiento de la fertilidad del suelo y aumento de la productividad, presentan el inconveniente de requerir recursos económicos elevados para su implementación que un pequeño productor no puede cubrir; además, de que no reflejan incrementos en el rendimiento a corto plazo que puedan satisfacer las necesidades económicas del productor, limitando así su adopción.

Por lo anterior, en los estados de Oaxaca, Chiapas, Veracruz y México, se ha implementado el sistema agrícola Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF). El sistema MIAF es una tecnología multiobjetivo que aborda a la vez las necesidades de seguridad alimentaria, ingreso y empleo familiar, protección del suelo y mayor infiltración del agua de lluvia, diversidad e interacción entre cultivos, y la fijación y secuestro de carbono. Agronómicamente es un cultivo múltiple que incluye al maíz, una o dos leguminosas comestibles, entre ellas el frijol, u otra especie anual comercial de porte bajo, y árboles frutales manejados bajo el sistema de cultivos intercalados en franjas lo suficiente anchas para permitir el manejo independiente de cada especie, pero lo suficientemente angostas para que las especies interactúen agronómicamente. Este sistema, al utilizar árboles frutales en altas densidades como muro vivo junto con la siembra de maíz y frijol, conserva y restaura el suelo degradado de las laderas, además de incrementar el ingreso económico del productor al plantear como motor económico al árbol frutal. Por todos estos beneficios, este sistema resulta más atractivo para los productores (Cortés *et al.*, 2007).

El sistema MIAF ha sido derivado de investigaciones en la agricultura tradicional del altiplano y trópico subhúmedo mexicano, y de la agricultura en laderas en el Proyecto Manejo Sustentable de Laderas (PMSL). El sistema MIAF aprovecha las relaciones complementarias entre las especies anuales tales como el maíz y el frijol y los árboles frutales en cuanto al aprovechamiento integral del suelo, el agua, la luz, la mano de obra familiar y la captura de carbono (Cortés *et al.*, 2010). El arreglo espacial de las especies componentes está diseñado para obtener altos rendimientos y buena calidad de cada especie.

En laderas con pendiente pronunciada de entre 20 y 40 %, el sistema MIAF está basado en un módulo que consiste de una franja de 10.6 m de ancho, dividida en tres partes. La franja del centro es de 4.2 m de ancho, las dos laterales de 3.2 m de ancho. En la parte media de la primera franja, se ubica la hilera de árboles frutales en curvas de nivel, plantados a 1 m de separación (Figura 1). En cada franja lateral a la de los árboles, se siembran 4 surcos de maíz y 4 de frijol con una distancia de 0.80 m entre surcos, paralelos a la hilera de los árboles frutales. Con esta distribución de las tres especies en el terreno, el maíz y el frijol, cada uno ocupa el 30 por ciento y el árbol frutal el 40 por ciento de la superficie sembrada. La repetición de este módulo MIAF a lo ancho del terreno, da lugar a un diseño de plantación de árboles frutales en hileras separadas a 10.6 m, con ocho surcos para el maíz y frijol entre dos hileras de árboles (Cortés *et al.*, 2010).

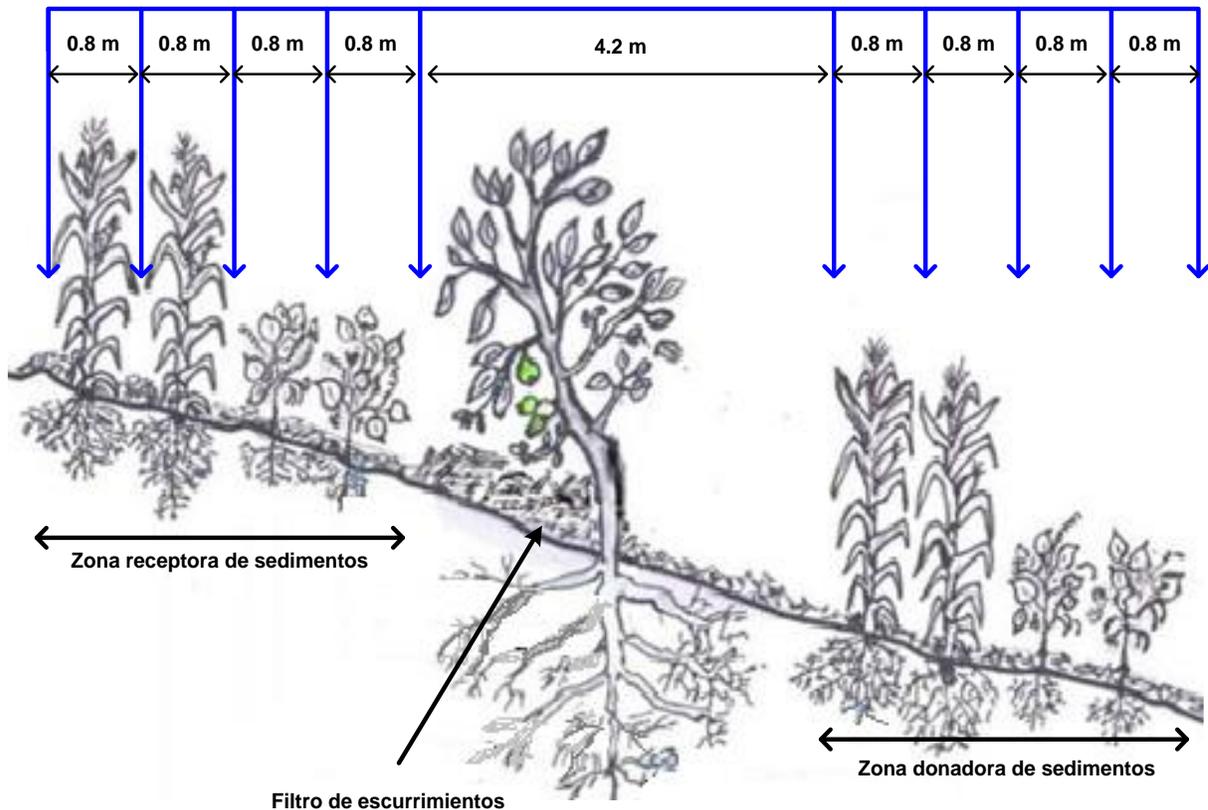


Figura 1. Módulo básico del sistema agrícola Milpa Intercalada con Árboles Frutales en terrenos con pendientes pronunciadas (20 a 40 %).

Fuente: Adaptado de Cortes *et al.* (2010)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del sitio experimental

El presente trabajo fue realizado en una parcela experimental manejada durante cinco años (2007-2012) con el sistema MIAF como parte del trabajo de investigación agronómica del Proyecto Manejo Sustentable de Laderas en una segunda fase, la cual dio inicio en el año 2007 en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec, región Mixe de la Sierra Norte de Oaxaca (Figura 2). El objetivo es el mejoramiento de la

tecnología MIAF y la obtención de las recomendaciones específicas para este agrosistema. La parcela experimental (Figura 3) se localiza en la ranchería Santa Cruz a los 17° 05' 17.29" de latitud norte y 96° 02' 52.89" de longitud oeste, a una altitud de 2,274 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1981), el clima es templado húmedo con lluvias en verano, mismo periodo que es fresco, largo e isotermal Cb(m)(w). La precipitación pluvial anual varía entre 1,200 y 1,400 mm, la temperatura media anual es de 16°C con déficit en la relación de precipitación-evapotranspiración en los meses de diciembre a abril. La topografía del área es accidentada con pendientes pronunciadas de entre 20 y 40 %. Los suelos son arcillosos, y se clasifican como Cámbisoles considerados dentro de los Inceptisoles, con pH ácido de 4.9 (Vergara *et al.*, 2005), con contenidos bajos de materia orgánica (1.17 %) y una densidad aparente de 1.38 g cm³.

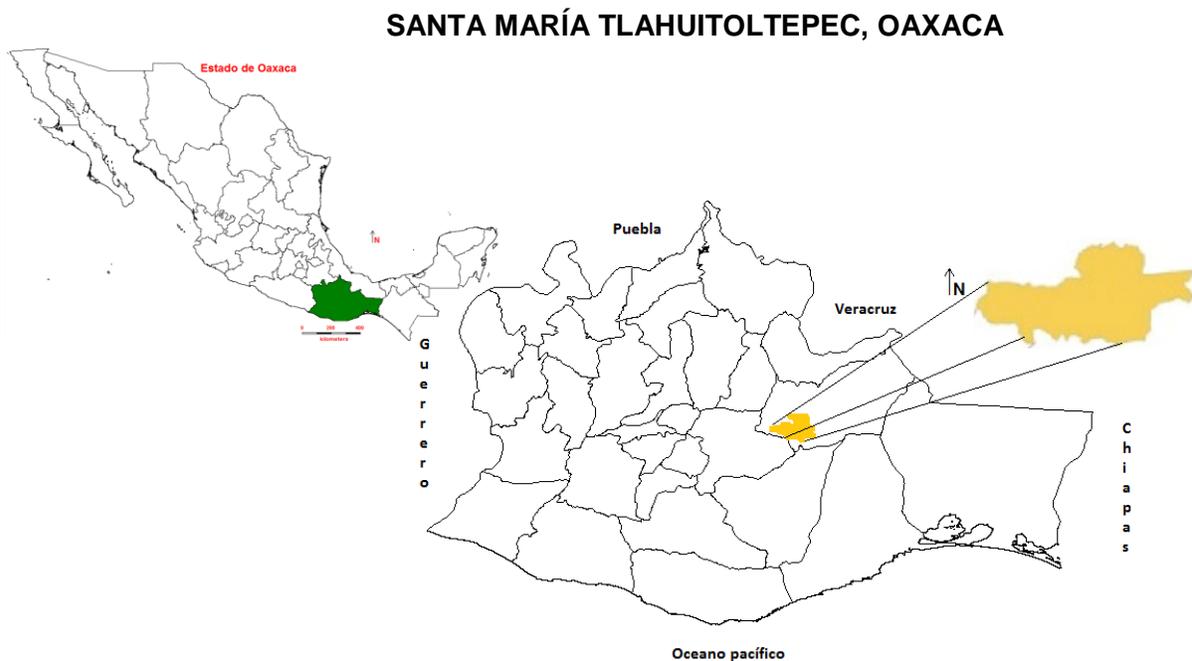


Figura 2. Macrolocalización del sitio de estudio en el municipio de Santa María Tlahuitoltepec, región Mixe, Oaxaca.



Figura 3. Microlocalización del sitio de estudio en la rancharía Santa Cruz, Santa María Tlahuitoltepec, Oaxaca.

Fuente: Google Earth.

Se han manejado año con año (2007 al 2012) tres sub experimentos en el sistema MIAF: maíz, frijol y árbol de durazno. En los sub-experimentos, maíz y frijol, se estudia la respuesta a la fertilización con N, P_2O_5 , K_2O y densidad de población, y en el sub experimento árbol de durazno que funciona como muro vivo, con la variedad CP 2005, se estudia la respuesta a la dosis de fertilización con N, P_2O_5 , K_2O y estiércol, cada uno a cinco niveles; cada subexperimento consta de 26 tratamientos. En el sub-experimento maíz, el espacio de exploración incluye 4 factores con 5 niveles cada uno: nitrógeno (40, 80, 120, 160 y 200 $kg\ ha^{-1}$), P_2O_5 (30, 60, 90, 120 y 150 $kg\ ha^{-1}$), K_2O (0, 20, 40, 60 y 80 $kg\ ha^{-1}$) y densidad de población (40, 50, 60, 70 y 80 mil plantas ha^{-1}); con los cuales se tienen 26 tratamientos y en el sub-experimento frijol el espacio de exploración también incluye 4 factores con 5 niveles

cada uno: nitrógeno (20, 40, 60, 80 y 100 kg ha⁻¹), P₂O₅ (20, 40, 60, 80 y 100 kg ha⁻¹), K₂O (15, 30, 45, 60 y 75 kg ha⁻¹) y densidad de población (50, 70, 90, 110 y 130 mil plantas ha⁻¹); con los cuales se tienen 26 tratamientos. La preparación del suelo y las labores culturales se realizan con yunta de bueyes, arado egipcio y arado de vertedera y el control de malezas con azadón.

4.2 Diseño experimental

Para el presente estudio se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas donde la parcela grande fue la dosis de fertilización y la parcela chica fue el sitio de muestreo. Se estudiaron 10 dosis de fertilización (Cuadro 1), las cuales fueron seleccionadas de los 26 tratamientos del experimento original, considerando los extremos y la parte central del espacio de exploración.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización seleccionadas del experimento MIAF original para el presente estudio.

Tratamiento	Dosis (kg ha ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
D1	30.0	75.0	42.5
D2	150.0	75.0	42.5
D3	90.0	25.0	42.5
D4	90.0	125.0	42.5
D5	90.0	75.0	7.5
D6	90.0	75.0	77.5
D7	90.0	75.0	42.5
D8	90.0	75.0	42.5
D9	90.0	75.0	42.5
D10 ^{&}	90.0	75.0	42.5

[&]Fertilización mineral más gallinaza (2 t ha⁻¹).

Los sitios de muestreo fueron definidos en función de la pendiente, dando lugar a 6 sitios de muestreo (Figura 4), los cuales están identificados y descritos en el Cuadro 2. En total se tuvieron 60 tratamientos con dos repeticiones.

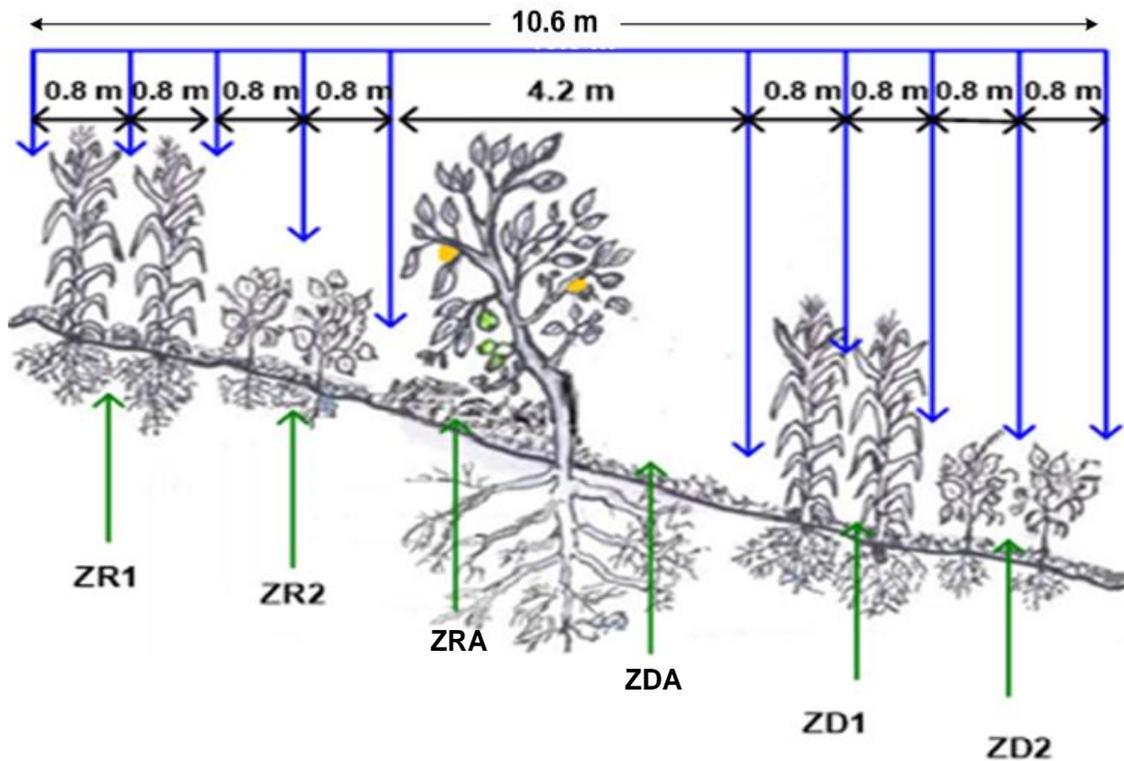


Figura 4. Posición de los sitios de muestreo en el Módulo MIAF, Santa María, Tlahuitoltepec, Oaxaca.

En cada sitio se obtuvo una muestra de 1.5 kg de suelo aproximadamente, con una pala recta en la parte central de cada sitio de muestreo; el suelo se depositó en bolsas de plástico que se etiquetaron para su posterior traslado y análisis en laboratorio.

Cuadro 2. Descripción de los sitios de muestreo de la parcela experimental MIAF.

Sitio de muestreo	Características
ZR1	Receptora de sedimentos en el área de cultivo ubicada en la parte más alejada de la fila de árboles aguas arriba.
ZR2	Receptora de sedimentos en la zona de cultivo, próxima a la fila de árboles aguas arriba.
ZRA	Receptora de sedimentos en la fila de árboles en el área de goteo de los árboles aguas arriba. Sin laboreo con cubierta de residuos de cosecha.
ZDA	Donadora de sedimentos en la fila de árboles en el área de goteo de los árboles aguas abajo. Sin laboreo y sin cubierta de residuos de cosecha.
ZD1	Donadora de sedimentos en el área de cultivo, próxima a la fila de árboles aguas abajo.
ZD2	Donadora de sedimentos en el área de cultivo ubicada en la parte más alejada de la fila de árboles aguas abajo.

4.3 Caracterización de la fertilidad del suelo

4.3.1 Muestreo del suelo

El muestreo del suelo se llevó a cabo durante el mes de diciembre de 2013, en cada uno de los seis sitios definidos (Figura 4). El primero es el área localizada 4.5 m aguas arriba de la hilera de árboles identificada como zona receptora uno (ZR1) correspondiente a la parte central de los 2 primeros surcos del módulo MIAF; el segundo corresponde al área ubicada 2.9 m aguas arriba de la hilera de árboles denominada zona receptora dos (ZR2); el tercero corresponde al área ubicada 1 m aguas arriba de la hilera de árboles denominada zona receptora en la hilera de árboles (ZRA); el cuarto corresponde al área ubicada 1 m aguas abajo de la hilera de

árboles denominada zona donadora en la hilera de árboles (ZDA); el quinto corresponde al área ubicada 2.9 m aguas abajo de la hilera de árboles denominada zona donadora uno (ZD1) y el sexto corresponde al área ubicada 4.5 m aguas abajo de la hilera de árboles denominada zona donadora dos (ZD2) (Cuadro 2). La muestra se obtuvo a una profundidad de 0 a 20 cm en todos los sitios de muestreo a excepción de la ZRA, en la cual se muestreó a una profundidad de 15 a 35 cm con la finalidad de eliminar los primeros 15 cm que corresponden a la capa de residuos vegetales del filtro de escurrimientos.

4.3.2 Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo se secaron a la sombra, se molieron con un mazo de madera, y se cribaron en un tamiz de 2 mm. En ellas se llevaron a cabo las determinaciones de físicas y químicas. Todas las determinaciones se hicieron basadas en los métodos de la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT, 2000).

Propiedades físicas

Contenido de humedad al momento del muestreo por el método gravimétrico; densidad aparente por el método del terrón parafinado; textura por el método de Boyoucos; porosidad de acuerdo a De Boodt (1965) y De Leenheer (1967); humedad a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) por el método de la olla de presión.

Propiedades químicas

El pH se determinó (1:2 H₂O); carbono orgánico del suelo (COS) (Walkley y Black 1934); materia orgánica del suelo (MOS), a partir del carbono orgánico del suelo multiplicado por el factor 1.724 de Van Benmelen (Jackson, 1964) (el factor de transformación de COS a MOS puede variar entre 1.9 para el horizonte superficial y 2.5 para horizontes inferiores (Broadbent, 1953)); nitrógeno total por el método de digestión; fósforo extraíble (Bray y Kurtz 1); potasio por acetato de amonio 1N, pH 7, y hierro, cobre, zinc y manganeso por el método de la solución complejante con EDTA (Lindsay y Norvell 1978).

4.4 Caracterización de la topografía del terreno

Para cuantificar los cambios en la topografía del terreno, sobre todo el cambio en la pendiente principal del terreno, durante los cinco años de establecido el sistema MIAF, se realizó un levantamiento topográfico detallado de la parcela, utilizando una Estación Total Leica T5-06 Plus. Para determinar, tanto la pendiente original del terreno, como la pendiente actual, se registraron las coordenadas y altura de los siguientes puntos, teniendo como referencia la hilera de árboles frutales: a) para determinar la pendiente original del terreno, se tomaron lecturas (coordenadas) de puntos a cada 2 metros o a cada cambio notorio de la dirección de la hilera de árboles frutales (curva a nivel), ubicados estos puntos sobre las franjas de terreno, localizada aguas abajo de las hileras de los árboles frutales, las cuales han permanecido inalteradas durante los cinco años del MIAF; b) para determinar la pendiente actual del terreno, además de incluir los datos usados para determinar la

pendiente original, se realizaron lecturas (coordenadas) de puntos, también a cada 2 metros o a cada cambio notorio en la dirección de la curvatura del sistema MIAF, de las siguientes líneas guías, considerando la sección transversal del sistema MIAF: 1) de la línea aguas abajo de la franja inalterada (en donde se inician las roturaciones por los implementos agrícolas); 2) de la franja donde se localizan las hileras de árboles frutales, y 3) de la línea de acumulación de suelo (localizada visualmente por notarse la acumulación de suelo, antes de la hilera de árboles frutales) como se indica en la Figura 5

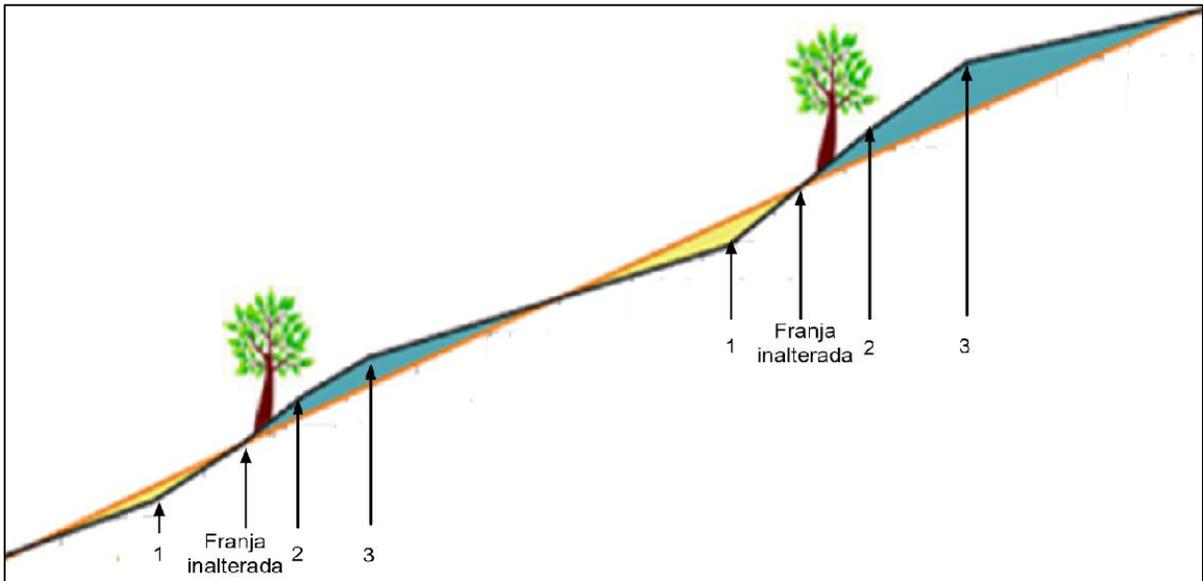


Figura 5. Posición de los puntos de lectura topográfica en una sección trasversal del terreno. La información obtenida en campo fue analizada y graficada con los paquetes computacionales AutoCAD versión 2013 y Surfer 7.0.

4.5 Análisis estadísticos

Las fuentes de variación fueron tratamiento, sitio de muestreo y repetición. Con la finalidad de evaluar los efectos principales de los factores tratamiento (T_j), sitio de muestreo (δ_k), repetición (β_i) y sus interacciones se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para comparación de medias, utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0.

El modelo estadístico utilizado para el análisis de los resultados fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + \eta_{ij} + \delta_k + (T\delta)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} es la variable respuesta (contenido de humedad, densidad aparente, espacio poroso, humedad a capacidad de campo, humedad a punto de marchitez permanente, porcentajes de arena, limo y arcilla, pH, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, cobre, zinc y manganeso); μ es la media general; β_i es efecto del bloque completo i ($i= 1, 2$); T_j es el efecto de la fertilización o parcela grande j ($j=1, 2, 3, 4, 5, \dots, 10$) (ij); η_{ij} es el elemento aleatorio de error sobre la parcela grande (ij); δ_k es el efecto de la sitio de muestreo o parcela chica ($k=1, 2, \dots, 6$) dentro de la parcela grande (ij); $(T\delta)_{jk}$ es la interacción entre la parcela grande j y parcela chica k ; ϵ_{ijk} es el error sobre la parcela chica (ijk).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados con respecto a características físicas del suelo en función del sitio de muestreo, características químicas en función de la dosis de fertilización y sitio de

muestreo, y cambios topográficos del terreno de ladera por efecto del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales se discuten a continuación.

5.1 Características físicas del suelo

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias de los sitios de muestreo para las variables físicas del suelo. El sitio de muestreo no afectó significativamente el espacio poroso (EP), la capacidad de campo (CC) y el punto de marchites permanente (PMP); sin embargo, el contenido de humedad del suelo al momento del muestreo (Hum), la densidad aparente (Da) y la proporción de las partículas del suelo de arena, limo y arcilla, si presentaron diferencias, aun cuando no se modificó la clase textural ($p=0.05$).

Cuadro 3. Efecto del sitio de muestreo en las características físicas del suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

Sitio de muestreo	Características físicas [§]							
	Hum (%)	Da (g cm ³)	EP	CC	PMP	Textura (%)		
						A	L	R
ZR1	24.37 a	1.42 a	46.42 a	29.77 a	16.15 a	41.10 a	26.70 ab	32.20 bc
ZR2	23.36 a	1.36 ab	48.66 a	30.20 a	16.77 a	42.40 a	28.20 a	29.40 c
ZRA	22.76 a	1.38 ab	47.33 a	29.92 a	16.44 a	42.85 a	27.15 ab	30.00 c
ZDA	19.03 b	1.35 b	48.20 a	29.22 a	15.47 a	40.68 ab	28.31 a	31.00 c
ZD1	23.25 a	1.38 ab	47.44 a	30.92 a	17.90 a	37.55 bc	25.75 b	36.70 a
ZD2	23.87 a	1.37 ab	48.05 a	31.02 a	17.00 a	36.92 c	27.88 a	35.20 ab

[§]Hum=Contenido de humedad al momento del muestreo; Da=Densidad aparente; EP=Espacio poroso; CC=Capacidad de campo; PMP=Punto de marchitez permanente A=arena; L=Limo; R=Arcilla. Medias con diferentes literales por columna indican diferencias estadísticas significativas ($p=0.05$).

En la Figura 6 se muestra el efecto del sitio de muestreo en la densidad aparente y contenido de humedad del suelo. La mayoría de los sitios de muestreo fueron

similares en cuanto a contenido de humedad en el suelo; sin embargo, la ZDA fue diferente al presentar el menor contenido de humedad ($p=0.05$). Lo anterior se debe a que en este sitio el suelo se encuentra desnudo y no detiene el escurrimiento del agua de lluvia, disminuyendo la infiltración. Como resultado de la falta de cobertura del suelo la humedad es menor a pesar de tratarse de una zona sin laboreo, lo cual coincide con lo mencionado por Navarro *et al.* (2000).

La densidad aparente en el sitio ZR1 fue mayor que en el sitio ZDA, el cual está libre de laboreo, lo cual permite la formación de una estructura estable del suelo dando origen a macro y mesoporos y, baja densidad aparente, a diferencia del sitio ZR1 que se localiza en la parte central del área de cultivo, que se remueve año con año y no permite la agregación de las partículas del suelo, aumentando así su densidad. De acuerdo a los resultados del presente estudio, la densidad y la humedad tuvieron un comportamiento similar. Estos resultados coinciden con los observados por Bernal *et al.* (2008) y difieren con los encontrados por Navarro *et al.* (2000) en diferentes tipos de labranza, en suelos con pendientes abruptas y pendientes menores a 5 %, respectivamente.

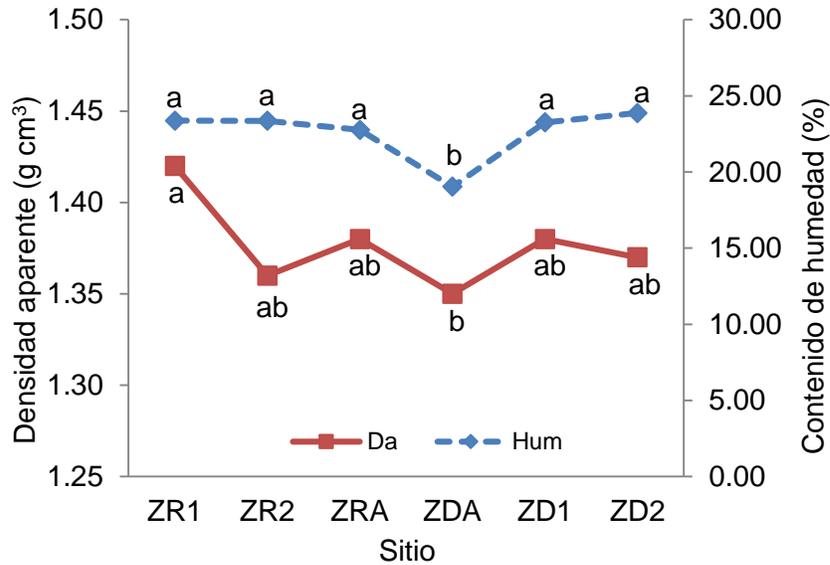


Figura 6. Contenido de humedad (Hum) y densidad aparente (Da) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

Respecto a la proporción de partículas del suelo, los sitios ZRA y ZDA que se encuentra dentro de la zona de goteo de los árboles y, ZR1 y ZR2 que se encuentran aguas arriba son las que presentaron mayor proporción de arena; mientras que las que se encuentran aguas abajo de la hilera de árboles (ZD1 y ZD2) tuvieron menores proporciones de arena. La proporción de arcilla fue a la inversa. En cuanto a limo la ZD1 tuvo la menor cantidad, debido a que la fracción limosa se caracteriza por ser altamente erosionable, especialmente cuando se presenta en superficies con pendiente (Uribe *et al.*, 2000).

La diferencia en la distribución de las partículas del suelo está afectada por la pendiente del terreno, ya que los sitios de muestreo estuvieron ordenados en función de la misma (Figura 7). Las partículas de arcilla fueron removidas por el agua de lluvia hacia la parte baja de la ladera, mientras que las arenas se acumularon aguas

arriba de la hilera de árboles y en el filtro de escurrimientos, cambiando la relación entre partículas aún dentro del intervalo de la misma clase textural, similar a lo mencionado por Juárez *et al.* (2008), y Pape y Legger (1994).

El filtro de escurrimientos aguas arriba de la hilera de árboles tiene por objetivo disminuir la velocidad de los escurrimientos del agua de lluvia permitiendo la sedimentación de las partículas del suelo más pesadas (arenas), las cuales inician la formación de una terraza y a su vez disminuyen la pendiente de la topografía del terreno, entre cada par de hileras de árboles. Juárez *et al.* (2008) señalan que los filtros de escurrimiento reducen la erosión por lo menos en un 75 %.

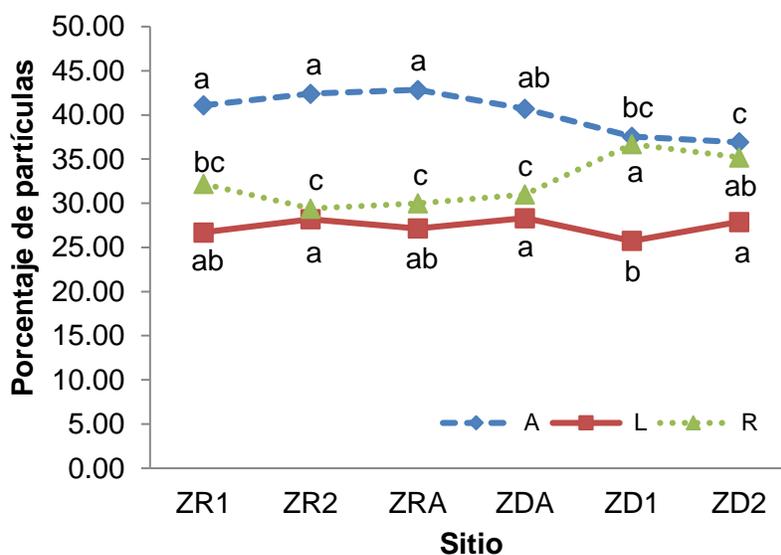


Figura 7. Contenido de arena (A), limo (L) y arcilla (R) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

En la Figura 8 se muestra que a medida que se incrementa la concentración de arenas en el suelo de ladera manejado con el sistema MIAF, disminuye el contenido de arcillas.

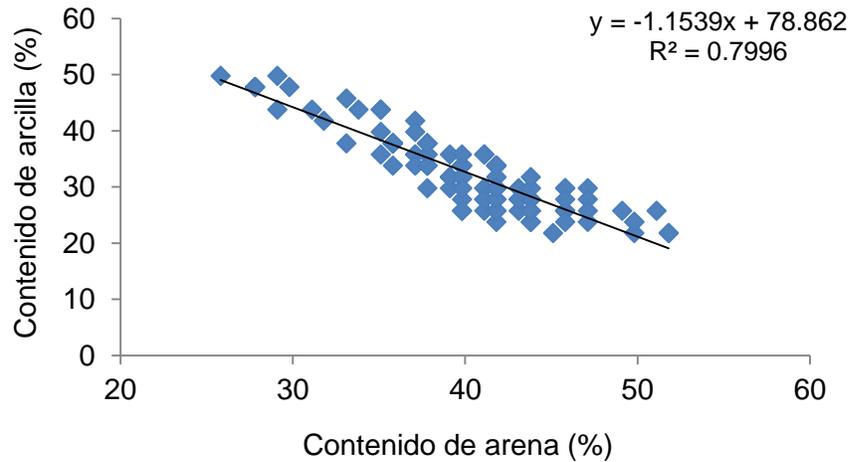


Figura 8. Relación de la concentración de arena y arcilla en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

5.2 Características químicas del suelo

En el Cuadro 4 se presenta la comparación de medias de los tratamientos de fertilización para las variables químicas del suelo. Las dosis de fertilización no tuvieron efecto significativo en las características químicas del suelo ($p=0.05$), a diferencia de lo reportado por Pool *et al.* (2000), que encontraron un aumento en el contenido de P y K en suelos de ladera de los Altos de Chiapas, tratados con fertilización mineral en una ladera taraceada.

De acuerdo con los valores señalados en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021) este suelo se considera ácido, con contenido medio MOS, bajo en N y P, alto en K, adecuado en Fe, Cu y Mn, y marginal en Zn.

Cuadro 4. Efecto de la dosis de fertilización en las características químicas del suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

Tratamiento	Características químicas [‡]								
	pH	MOS	Macronutrientes			Micronutrientes			
			N	P	K	Fe	Cu	Zn	Mn
	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(Cmol (+) kg ⁻¹)	-----mg kg ⁻¹ -----				
D1	4.88 a	2.22 a	0.09 a	25.81 a	0.83 a	35.16 a	0.56 a	0.97 a	20.73 a
D2	4.50 a	2.42 a	0.11 a	24.77 a	0.80 a	34.66 a	0.51 a	0.58 a	46.33 a
D3	4.77 a	1.58 a	0.08 a	11.51 a	0.89 a	31.45 a	0.42 a	0.51 a	28.12 a
D4	4.89 a	2.67 a	0.12 a	28.50 a	0.98 a	47.66 a	0.64 a	0.76 a	15.10 a
D5	4.82 a	2.02 a	0.09 a	15.78 a	0.82 a	30.41 a	0.48 a	0.42 a	22.91 a
D6	4.74 a	2.15 a	0.10 a	13.72 a	0.79 a	37.27 a	0.40 a	0.63 a	21.90 a
D7	4.62 a	1.89 a	0.10 a	16.58 a	0.88 a	30.14 a	0.33 a	0.48 a	30.25 a
D8	4.87 a	2.17 a	0.10 a	22.48 a	0.91 a	33.76 a	0.52 a	0.62 a	32.06 a
D9	4.69 a	1.85 a	0.09 a	14.07 a	0.82 a	31.80 a	0.50 a	0.58 a	30.04 a
D10	4.72 a	2.10 a	0.10 a	20.87 a	0.77 a	41.63 a	0.61 a	0.62 a	19.19 a

[‡]pH=Reacción del suelo; MOS=Materia Orgánica; N=Nitrógeno; P=Fosforo; K=Potasio; Fe=Hierro; Cu=Cobre; Zn=Zinc; Mn=Manganeso. Medias con diferentes literales por columna indican diferencias estadísticas significativas (p=0.05).

En el Cuadro 5 se presenta la comparación de medias de los sitios de muestreo para las variables químicas del suelo. El pH y MOS fueron similares en los diferentes sitios de muestreo tanto aguas arriba como aguas abajo de la hilera de árboles, pero diferentes en los dos sitios de muestreo ubicadas en la hilera de árboles ya que fueron superiores en 0.5, y 1.18 %, respectivamente (p=0.05). Así mismo se observó que el contenido de N, P, K, Fe, Cu y Zn del suelo estuvieron proporcionalmente relacionados con el contenido de materia orgánica y pH, debido a que en las zonas donde hay mayor contenido de materia orgánica es mayor la concentración de estos elementos; resultados similares han sido reportados por Pool *et al.* (2000).

Cuadro 5. Efecto del sitio de muestreo en las características químicas del suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

Sitio de muestreo	Características químicas [‡]								
	pH	MOS (%)	Macronutrientes			Micronutrientes			
			N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (Cmol (+) kg ⁻¹)	Fe	Cu	Zn	Mn
						-----mg kg ⁻¹ -----			
ZR1	4.47 b	1.76 b	0.08 bc	15.35 cd	0.84 bc	31.84 cd	0.24 b	0.40 b	24.56 a
ZR2	4.48 b	1.68 b	0.10 ab	27.69 ab	0.87 b	41.95 ab	0.39 b	0.59 ab	26.63 a
ZRA	5.04 a	2.74 a	0.12 a	35.98 a	1.01 a	49.17 a	0.99 a	0.95 a	26.24 a
ZDA	5.16 a	3.04 a	0.13 a	19.52 bc	0.89 ab	39.14 bc	0.86 a	0.93 a	25.23 a
ZD1	4.69 b	1.65 b	0.07 c	7.17 d	0.74 c	21.92 e	0.31 b	0.48 b	25.53 a
ZD2	4.65 b	1.75 b	0.08 bc	10.73 cd	0.74 c	28.33 de	0.19 b	0.35 b	31.78 a

[‡]pH=Reacción del suelo; MOS=Materia Orgánica; N=Nitrógeno; P=Fosforo; K=Potasio; Fe=Hierro; Cu=Cobre; Zn=Zinc; Mn=Manganeso. Medias con diferentes literales por columna indican diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Lo anterior se atribuye a que al descomponerse la materia orgánica aporta nutrientes al suelo y modifica el pH, lo cual provoca un aumento en la disponibilidad de los nutrientes. Un estudio similar realizado en la región Mazateca, Oaxaca por Juárez *et al.* (2008) demostró que el contenido de MOS se incrementó en 1.01 %, en los primeros 30 cm del suelo, al final de seis años de manejo bajo el sistema MIAF al registrar valores inicial y final de 0.71 y 1.74 %, respectivamente, valores comparativamente inferiores a los del presente estudio.

Las zonas ZRA Y ZDA que se ubican en el área de goteo de la hilera de árboles es la que muestra el mayor contenido de MOS aun cuando se eliminó la porción superior del suelo que corresponde al filtro de escurrimientos, el cual está formado de residuos de cosecha y madera de poda de los árboles. Esto puede ser consecuencia de la descomposición e incorporación de estos residuos en la capa superior del

suelo, a diferencia de las zonas donadoras y receptoras de sedimentos en las cuales la materia orgánica es menor y no hay diferencia significativa entre ellas ($p=0.05$). Además se puede observar que en los sitios de mayor concentración de MOS el pH es mayor (Figura 9).

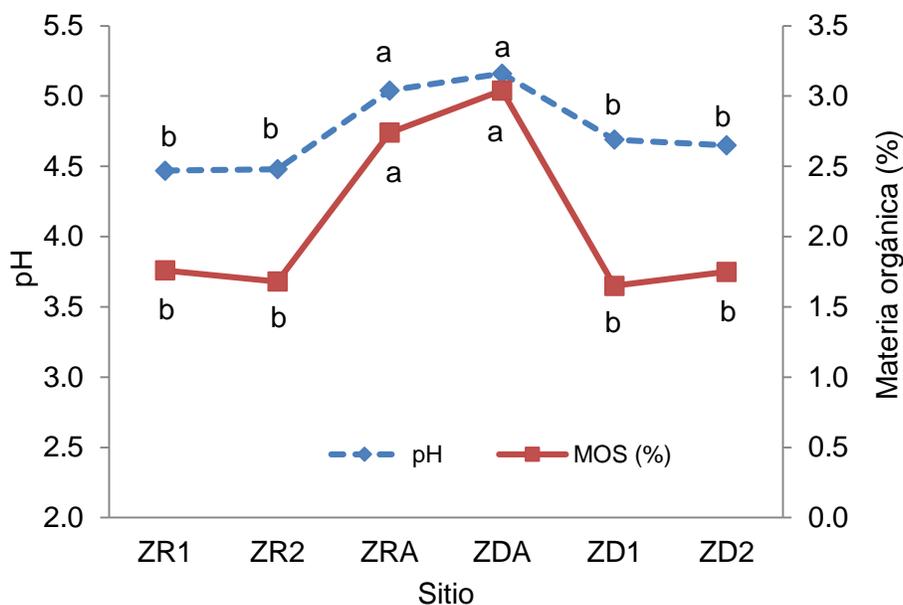


Figura 9. Contenido de materia orgánica (MOS) y pH en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

Por otra parte, el nitrógeno tiene una distribución descendente de las zonas donadoras hacia las zonas receptoras de sedimentos, concentrándose en la fila de árboles, lo cual puede ser efecto del lavado del nitrógeno y su acumulación en las zonas más bajas así como de la descomposición de la MOS (Figura 10). Este mismo comportamiento lo presentó el contenido de P y K (Figura 11).

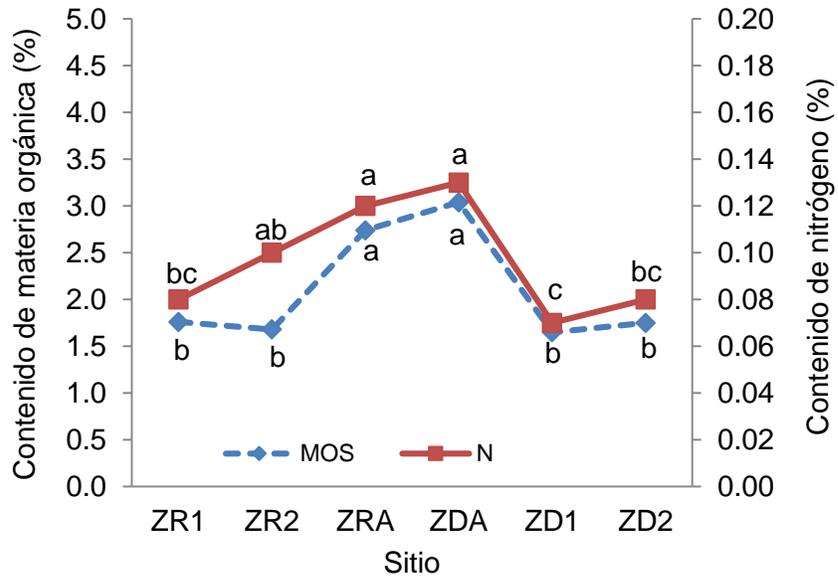


Figura 10. Contenido de materia orgánica (MOS) y nitrógeno (N) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

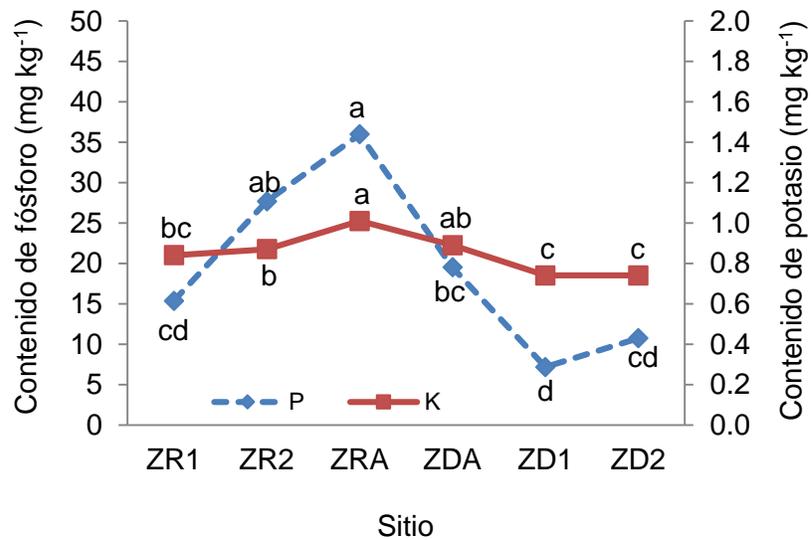


Figura 11. Contenido de fósforo (P) y potasio (K) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

En la Figura 12 se muestra el efecto del sitio de muestreo en el contenido de micronutrientes en el suelo. La distribución del contenido de micronutrientes fueron afectados por los sitios de muestreo, los menores contenidos se encuentran en las zonas donadoras, una cantidad intermedia en las zonas receptoras y los mayores contenidos se ubican en la hilera de árboles. Estos resultados se atribuyen al movimiento del suelo por efecto de la erosión hídrica, la cual remueve el suelo superficial hacia las partes más bajas en las cuales se depositan los sedimentos por efecto de la microtopografía de la parcela que se ha ido formando por efecto del sistema de manejo del suelo.

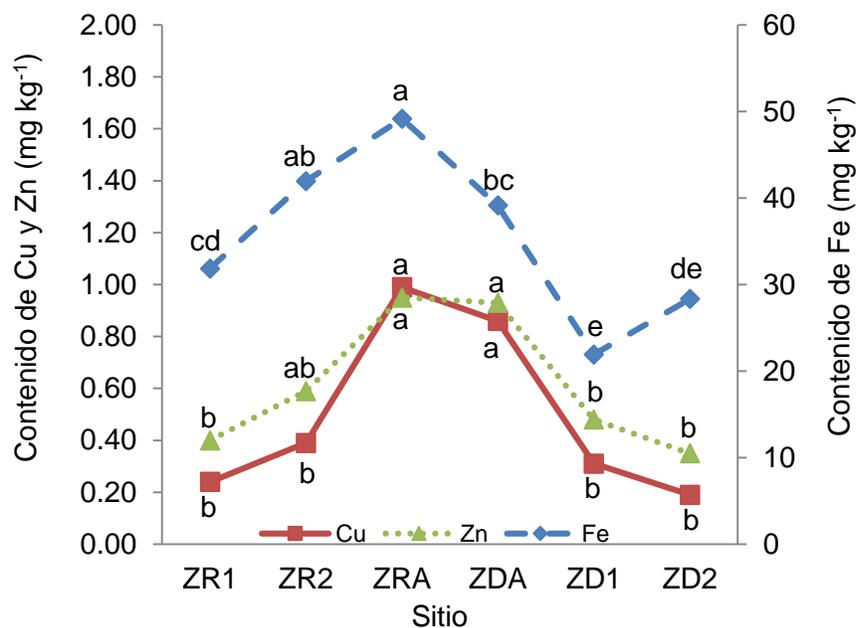


Figura 12. Contenido de cobre (Cu), Zinc (Zn) y Hierro (Fe) en función del sitio de muestreo en un suelo manejado por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

5.3 Características topográficas del terreno

La pendiente original de la parcela experimental era de 29.8 % antes de implementar el sistema MIAF, la cual ha ido cambiando gradualmente en las diferentes zonas que conforman el módulo MIAF y dando lugar a la formación paulatina de terrazas. En la actualidad cada zona que conforma el módulo MIAF posee diferente pendiente (Figura 13).

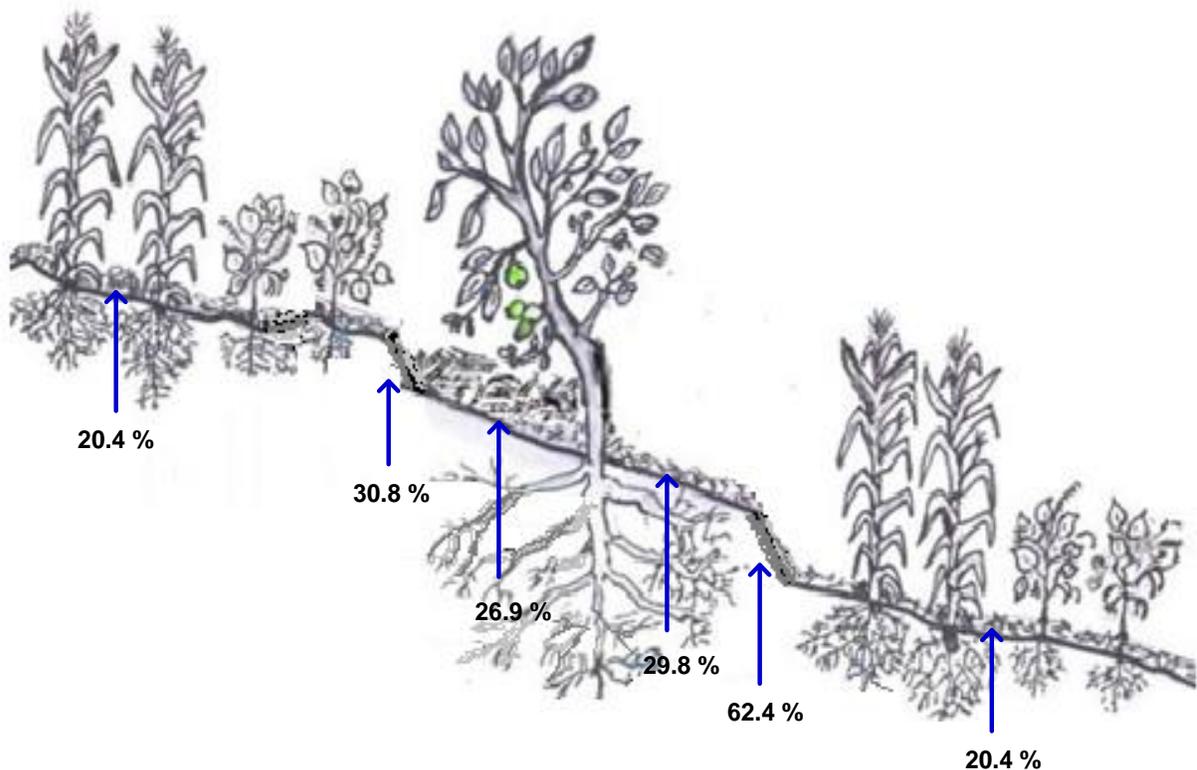


Figura 13. Esquematización de un corte transversal de la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

En las zonas de cultivo la pendiente ha disminuido, actualmente es de 20.4 % a excepción del surco próximo a la hilera de árboles aguas arriba, en el cual ha

aumentado por efecto de la formación de un bordo con una pendiente de 30.8 %, lo cual indica que el suelo removido por la labranza no está llegando en su totalidad al filtro de escurrimientos. La formación de dicho bordo deja de manifiesto que existen deficiencias en el sistema MIAF para la formación de las terrazas en las condiciones de labranza con arado egipcio en laderas abruptas, lo cual es necesario arreglar al momento de realizar labores culturales en la hilera de los árboles. De lo contrario la terraza que se está formando quedaría sin la estabilidad que le debería proporcionar el filtro de escurrimientos y la hilera de árboles. dejándola susceptible a la erosión masiva por efecto de humedad y de la gravedad.

En la zona del filtro de escurrimientos la pendiente ha disminuido 2.9 % por efecto de la acumulación de los sedimentos arrastrados por el agua de lluvia; lo cual se refleja en la composición mecánica del suelo, debido a que en las zonas receptoras se encontró mayor contenido de arena y menor contenido de arcilla. Mientras que en la zona próxima a la hilera de árboles aguas abajo, la pendiente ha aumentado 32.6 % por efecto del corte que se ha estado realizando con la labranza y la remoción del suelo hacía las partes bajas.

La modificación de la pendiente del terreno que da paso a la formación de las terrazas se debió a la deposición continua del suelo removido por acción del agua de lluvia y la labranza del suelo aguas arriba de la hilera de árboles (Figura 14).

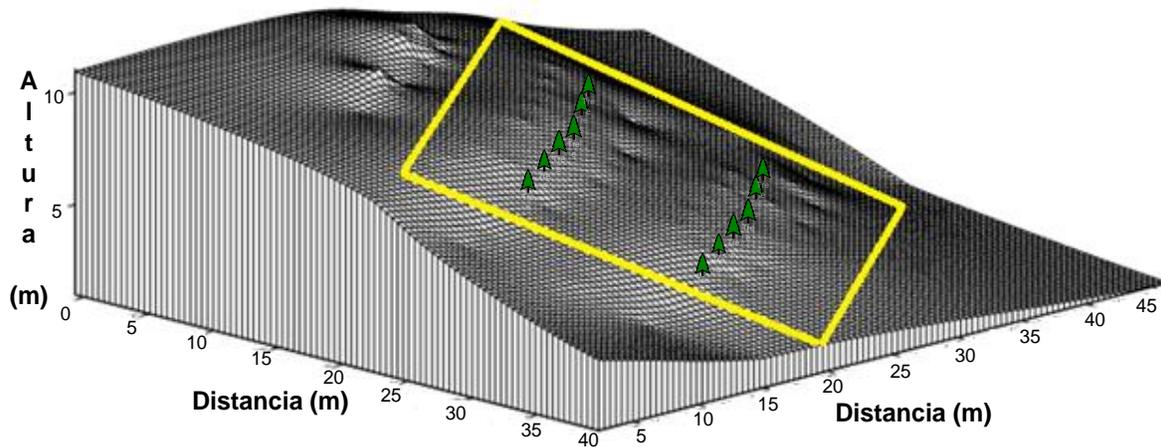


Figura 14. Plano de la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

Según Uribe *et al.* (2000) la formación de las terrazas ha sido benéfica en cuanto al control de la erosión del suelo, aunque se corre el riesgo de exponer un sustrato de menor fertilidad, con materiales extremadamente compactados o altamente erosionables cuando presentan un alto contenido de limos, en la sección donante de la terraza.

La incorporación de materia orgánica durante este proceso contribuye lentamente a mejorar la actividad biológica del suelo, que mejora su macro y microestructura, lo que favorece su permeabilidad, características no presentes en materiales expuestos cuando la terraza se forma rápidamente con medios mecánicos (Uribe *et al.*, 2000).

En la Figura 15 se muestran las curvas a nivel, las cuales entre más cerca se encuentre una de la otra mayor es la pendiente que se encuentra entre ellas.

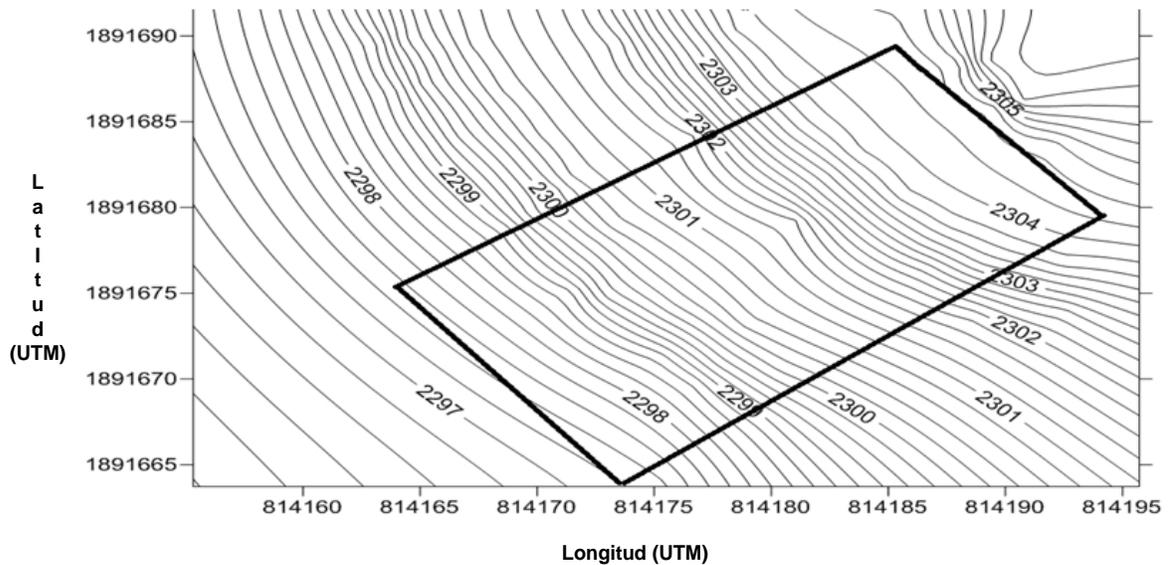


Figura 15. Curvas a nivel (m) de la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

En la Figura 16 se detalla la pendiente original (línea punteada) y la pendiente actual con línea continua, así como las áreas en la sección transversal que representan el suelo removido y depositado a lo largo de la pendiente del terreno.

Se puede observar que tanto la remoción como la depositación del suelo siguen una tendencia a ser mayor en las partes altas e ir disminuyendo en las partes bajas de la parcela, lo cual demuestra que tanto la fila de árboles como el filtro de escurrimientos reducen la fuerza erosiva del agua de lluvia y retienen sedimentos evitando su arrastre hacia las terrazas siguientes.

De acuerdo a las áreas de remoción y depositación de suelo en el corte transversal, con una proyección en una longitud de 100 m, se puede determinar el volumen removido y depositado de suelo en cada sección del módulo MIAF. En el área A6 correspondiente a la parte alta de la ladera se han removido 93 m^3 de suelo que de

acuerdo a la densidad aparente de 1.38 t m^3 equivale a 128.3 t , y se han depositado en el área A5 155 m^3 de suelo, que de acuerdo a su densidad aparente 1.36 t m^3 equivale a 210 t , 81.7 t más que provienen de las zonas altas de la ladera. Lo mismo sucede en el A4 donde se han removido 67.6 t de suelo y se depositan en A3, 100.6 t (33 t más que el suelo removido).

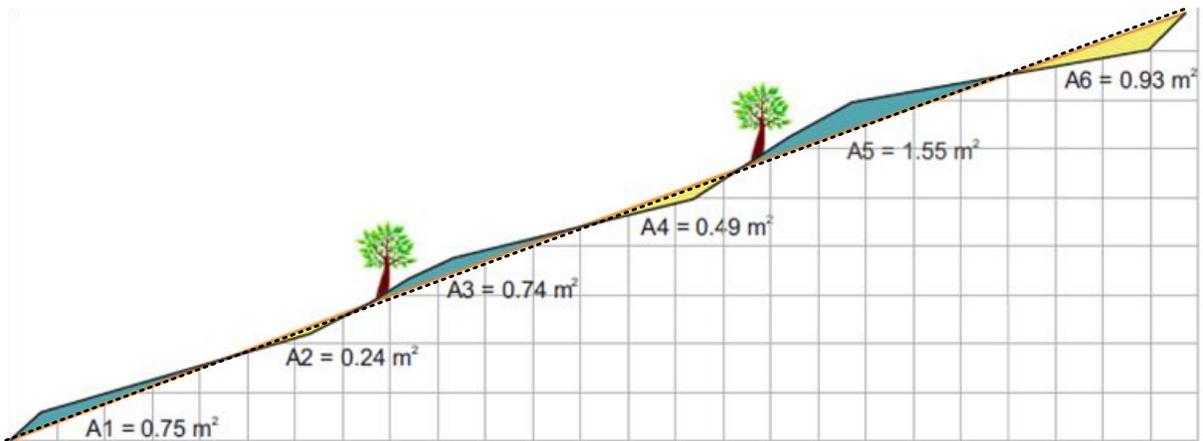


Figura 16. Esquematización de los movimientos de suelo en la parcela manejada por cinco años con el sistema MIAF, en la región Mixe, estado de Oaxaca.

VI. CONCLUSIONES

La topografía del terreno fue modificada por efecto del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales, mostrando la formación de terrazas próximas a la hilera de árboles aguas arriba.

Las características físicas y químicas del suelo fueron modificadas por efecto del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales, mostrando diferencias entre las zonas donadoras y receptoras de sedimentos.

La mayor concentración de N, P, K, Fe, Cu, Zn y Mn se localizó en el sitio de muestreo ZRA ubicado en el filtro de escurrimientos, lo cual coincide con la concentración de materia orgánica; mientras que los sitios ZD1 y ZD2 tuvieron las menores concentraciones.

La fertilización en el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales no mostró cambios estadísticamente significativos en las propiedades químicas del suelo.

VII. LITERATURA CITADA

- Bernal, N.; Montealegre, G.; Ipaz, S. N.; Chaparro, O. y Ramírez, L. M. 2008. Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en la rotación papa-pasto en áreas de ladera en la region alta andina de Colombia. *Acta Agron. Palmira*. 57(1):35-42 pp.
- Broadbent, F. E. 1953. The soil organic fraction. *In: Advances in Agronomy*. Norman, A. G. (ed.) Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility ELSEVIER. NY, USA 5:153-183.
- Camas, G. R.; Turrent, F. A.; Cortés, F. J. I.; Livera, M. M.; González, E. A.; Villar, S. B.; López, M. J.; Espinoza, P. N. y Cadena, I. P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (2):231-243 pp.
- Castellanos, Z. J.; Uvalle B. X. y Aguilar S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da ed. Colección INCAPA. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- Cortés, F. J. I.; Mendoza R. R.; Hernández R. E.; Aceves, R. E.; Turrent, F. A. y Estrella, C. N. 2004. El sistema agrícola "Milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)" en terrenos planos. Colegio de Postgraduados, Puebla, México.
- Cortés, F. J. I.; Turrent, F. A.; Díaz, V. P.; Hernández, R. E.; Mendoza, R. R. y Aceves, R. E. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados, México.
- Cortés, F. J. I.; Turrent, F. A.; Díaz, V. P.; Claro, C. P.; Hernández, R. E.; Aceves, R. E. y Mendoza, R. R. 2007. La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) una tecnología multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción. *In: Desarrollo agropecuario forestal y pesquero. Agenda para el desarrollo*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Coordinador José Luis Calva. 105 p.
- Cortés, F. J. I.; Torres, Z. J. P.; Turrent, F. A.; Hernández, R. E.; Ramos, S. A. y Jiménez, S. L. 2010. Manual Actualizado para el Establecimiento y Manejo del

Sistema Milpa Intercalada con Árboles frutales (MIAF) en Laderas. Colegio de Postgraduados. México. 30 p.

Cruz, L. A.; Martínez, T. y Omaña, J. M. 2005. Fuentes de fuerza, diversidad tecnológica y rentabilidad de la producción de maíz en México. *Ciencia ergo sum* (México). 11(3): 275-283 pp.

De Boodt, M. 1965. *Soil physics*. Gante, Bélgica, International Training Centre for Post-Graduate Soil Scientists.

De Leenbeer, L. 1967. Considerations critiques sur la valeur des resultats de la determination de la porosité totale et de la distribution des pore du sol. *Pédologie* no. 17:2.

Fassbender, H. W. y Bornemisza, E. 1994. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Servicio Editorial IICA. San José, Costa Rica. 419 p.

Francisco, N. N.; Turrent, F. A.; Oropeza, M. J. L.; Martínez, M. M. y Cortés, F. J. I. 2006. Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra*. 24:253-260 pp.

García, E. 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Inman, A. and Tamar Consulting. 2006. *Soil erosion in England and Wales: causes, consequences and policy options for dealing with the Problem*. Discussion Paper prepared for WWF. WWF-UK. Panda House, Weyside Park, Godalming, Surrey. 30 p.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2007. *El VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. México.

Jackson, M. L. 1964. *Análisis químicos de suelos* (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.

Juárez, R. D.; Fragoso, G. C.; Turrent, F. A.; Ocampo, M. J.; Sandoval, C. E.; Ocampo, F. I.; Ferrera, C. R. y Hernández, R. E. 2008. Mejoramiento del suelo en la milpa intercalada con árboles frutales (MIAF). *LEISA revista de agroecología*. 30-31 pp.

Juárez, R. D. y Fragoso, G. C. 2014. Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 30(3):637-654 pp.

- Laird, R. J. 1991. Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura tradicional. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. 175 p.
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. 1978. Development of a DTPA TEST for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Soc. Soc. Am. J.* 42(3):421-428 pp.
- López, M. J. y Anaya, G. M. 1994. Efecto de tres prácticas agronómicas sobre la conservación y productividad de suelos de ladera de la Frailesca, Chiapas. *Agric. Téc. Mex.* 20 (2): 113-132 pp.
- Mendoza, R. R.; Cortés, F. J. I.; Turrent, F. A.; Parra, I. F. y Estrella, C. N. 2006. Proyectos de investigación-transferencia del sistema frutales-cultivos anuales en Puebla y Oaxaca, México. *In: X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.* Valencia, 13-15 Septiembre.
- Nair, P. K. R.; Rao, M. R. and Fernández, E. C. M. 1994. Tree crop interactions in sustainable agroforestry systems. 15 th World Congress of Soil Science. Volume 7a. Commission, VI Simposia. 110-137 pp.
- Navarro, B. A.; Figueroa, S. B.; Ordaz, C. V. M. y González, C. F. V. 2000. Efecto de la branza sobre la estructura del suelo, germinación y desarrollo del maíz. *Terra* 18(1):61-69 pp.
- Navarro, G. y Navarro S. 2003. *Química Agrícola.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 487 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2009. La FAO en México. Más de 60 años de cooperación 1945-2009. Talleres de Frente 8 Vuelta, S.A. de C.V. (ed). AGROANALISIS AC.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015a. Degradación del Suelo. Portal de Suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/> (consultado el 04 de mayo de 2015).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015b. Costo de la Erosión del Suelo. Portal de Suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/costo-de-la-erosion-del-suelo/es/> (consultado el 04 de mayo de 2015).

- Pape, T. and Legger, D. 1994. Manual for soil description and classification. Department of soil science and geology. Wageningen Agric. Univ. Wageningen. The Netherlands. 79-86 pp.
- Parra, V. M. R.; Alemán, S. T.; Díaz, H. B.; García, A. M. del C.; García, B. L. E.; López, M. A.; Márquez, G. A.; Nahed, T. J.; Plascencia, V. H.; Pool, N. L. y Soto P. L. 1993. La producción silvoagropecuaria en Los Altos de Chiapas, análisis de un Sistema complejo. *In: sistemas de Producción y Desarrollo Agrícola*. Navarro G. H.; Colín, J. P. y Mileville, P. (eds). ORSTOM-CONACYT-CP. México, D. F. 247-256 pp.
- Peck, T. R.; Cope J. T. and Whitney D. A. 1977. Soil testing. Correlating and interpreting the analytical results. ASA Special Publication Number 22. American Society of Agronomy, Madison, WI. 117 p.
- Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R. and Blair, R. 1995. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*. USA. 267(5201):1117-1123 pp.
- Pool, N. L.; Trinidad, S. A.; Etchevers, B. J. D.; Pérez, M. J. y Martínez, G. A. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia*. 34(3):251-259 pp.
- Ramírez, C. M. E. y Oropeza M. J. L. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión en laderas en el trópico. *Agrociencia*. 35:489-495 pp.
- Ritter, J. and Eng, P. 2012. Soil erosion-Causes and Effects. Ministry of Agriculture. Food and Rural Affairs. Toronto, Ontario, Canada. Order 12-053. 7 p.
- Ruiz, M. A. D.; Jiménez, S. L.; Figueroa, R. O. L. y Morales, G. M. 2012. Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(81):1605-1621 pp.
- Salgado, G. S.; Palma L. D. J.; Castelán, E. M.; Lagunes, E. L. del C. y Ortiz, L. H. 2013. Manual para muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México. 99 p.

- Santiago, M. E.; Cortes, F. J. I.; Turrent, F. A.; Hernández, R. E. y Jaen, C. D. 2008. Calidad del fruto del duraznero en el sistema milpa intercalado con árboles frutales en laderas. *Agricultura Técnica en México*. 34(2):159-166 pp.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2004. El comportamiento del ingreso rural en México 1994-2004.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. In: Compendio de estadísticas Ambientales, Indicadores clave y de desempeño ambiental. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html (consultado el 04 de mayo de 2015)
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to soil taxonomy. 10ª Ed. USDA-NRSC. Washington, D.C. USA. 339 p.
- Tiscareño, L. M.; Gallardo, V. M. y Velásquez, V. M. A. 1997. Impacto de los sistemas de labranza en la agricultura de laderas. In: Avances de investigación en Labranza de Conservación I. Libro técnico No. 1. Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible. INIFAP. Michoacán, México. 107-122 pp.
- Uribe, G. S.; Gutiérrez, C. Ma. Del C.; Tavarez, E. C. y Turrent, F. A. 2000. Caracterización y clasificación de suelos de ladera manejados con terrazas de muro vivo en los Tuxtlas, Veracruz. *Agrociencia*. 34(4):403-412 pp.
- Uribe, G. S.; Francisco, N. N. y Turrent F. A. 2002. Perdida de suelo y nutrimentos en un Entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36:161-168 pp.
- Ustun, B. 2008. Soil Erosion Modelling By Using Gis & Remote Sensing: A Case Study, Ganos Mountain. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing, China. Vol. XXXVII. Part B7. 1681-1684 pp.
- Vergara, S. M. A.; Etchevers, B. J. D. y Padilla, C. J. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia*. 39:259-266 pp.