

Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México*

Soil erosion, runoff and nitrogen and phosphorus losses in hillsides as affected by soil management system in Chiapas, Mexico

Robertony Camas Gómez¹, Antonio Turrent Fernández¹, José Isabel Cortes Flores³ Manuel Livera Muñóz⁴, Adrián González Estrada², Bernardo Villar Sánchez⁵, Jaime López Martínez⁵, Néstor Espinoza Paz⁶ y Pedro Cadena Iñiguez⁷

¹Programa de Maíz y ²Economía, Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5 C. P. 56250, Coatlinchán, Textcoco, Estado de México. Tel. 01 595 92126, (aturrent37@yahoo.com.mx), (gonzales.adrian@inifap.gob.mx). ³Postgrado en Edafología y ⁴Genética. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Textcoco, km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9520248, (jicortes@colpos.mx), (mlivera@colpos.mx). ⁵Programa de Recursos Naturales, ⁶Mejoramiento Genético y ⁷Transferencia de Tecnología, Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, km 3 A. P. Núm. 1, C. P. 29140 Ocozocoautla, Chiapas. Tel. 01 968 6882911, (villar.sanchez@inifap.gob.mx), (lopez.jaime@inifap.gob.mx), (espinoza.nestor@inifap.gob.mx), (cadena.pedro@inifap.gob.mx). ⁸Autor para correspondencia: camasg@colpos.mx.

Resumen

En Chiapas, México, la erosión del suelo es el principal problema que afecta la sustentabilidad de las tierras de ladera. Como resultado, los rendimientos y los ingresos son bajos y la calidad del suelo continúa disminuyendo. Con el objetivo de encontrar alternativas tecnológicas sostenibles, se evaluaron los sistemas: maíz en labranza de conservación (MLC); maíz en barreras de muro vivo (MBMV) y milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), en términos del escurrimiento superficial, producción de sedimentos y pérdida de nitrógeno y fósforo en el periodo de junio a noviembre de 2009. Los sistemas se establecieron en microcuencas adyacentes pertenecientes a la cuenca del río Catarina, Jiquipilas, Chiapas. El suelo es un Typic haplustepts, con una pendiente que varía de 30 a 40%. Del total de las precipitaciones, 54% causaron erosión del suelo, y 15% de estos con una precipitación superior a 40 mm 62% de la erosión total. El coeficiente de escurrimiento y la degradación específica de suelo fueron similares y más bajos en las micro cuencas; MIAF (12, 5.8 t ha⁻¹) y MBMV (13, 6.3 t ha⁻¹) que en la microcuenca con MLC (19, 16.8 t ha⁻¹),

Abstract

In Chiapas, Mexico, soil erosion is the main problem affecting the sustainability of hillside lands. As a result, yields and incomes are low, and soil quality continues to decrease. With the aim of finding sustainable technological alternatives, an evaluation was performed on the following systems: maize in conservation tillage (MLC); maize in plant barriers (MBMV) and maize alternated with fruit trees (MIAF), in terms of surface runoff, production of sediments and loss of nitrogen and phosphorous from June to November, 2009. The systems were set up in adjacent microbasins, belonging to the basin of river Catarina, Jiquipilas, Chiapas. The soil is a Typic haplustepts, with a slope that varies between 30 and 40%. Out of the total rainfalls, 54% caused soil erosion, 15% of these with rains of over 40 mm 62% of the total erosion. The runoff coefficient and the specific soil degradation were similar and lower in the micro basins; MIAF (12, 5.8 t ha⁻¹) and MBMV (13, 6.3 t ha⁻¹) than in the microbasin with MLC (19, 16.8 t ha⁻¹), respectively. In MIAF, the runoff filter and total cover provided by maize and bean plants during most of the growth season played an important part in obtaining

* Recibido: septiembre de 2011
Aceptado: enero de 2012

respectivamente. En el MIAF, el filtro de escurrimiento y la cobertura total proporcionada por el maíz y el frijol durante la mayor parte de la temporada de crecimiento tuvo un papel importante para obtener esos resultados, no obstante que esa microcuenca presentó mayor grado y longitud de pendiente. En cuanto a los nutrientes se determinó una mayor pérdida de nitratos en la microcuenca con el sistema MBMV, posiblemente debido al aporte de nitrógeno por los residuos de la poda de *Gliricidia sepium*. Respecto a fósforo, el sistema MIAF presentó una pérdida mayor, atribuyéndose a la fertilización fosfórica anual que se realizó a los árboles de guayaba durante tres años.

Palabras clave: agricultura de ladera, erosión, sistemas de conservación.

Introducción

En la región tropical de México, las actividades productivas mal planeadas y sin prácticas de conservación son una amenaza, por su efecto en la degradación de los recursos naturales. Particularmente en la agricultura de ladera, se origina el problema de degradación del suelo por erosión hídrica, como producto de las actividades antrópicas que disminuyen la cubierta vegetal y aumentan el efecto de los agentes naturales de la erosión. Históricamente, la erosión hídrica ha sido factor central de la no sustentabilidad de las laderas desprotegidas de México; tasas de erosión que sobrepasan los límites permisibles son lugar común (Martínez, 1983; Martínez y Lasso, 1991; Arias y Figueroa, 1992). La pérdida de la capa arable por este proceso disminuye la productividad del suelo y aumenta el riesgo de cultivo asociado a la sequía, hasta el grado de hacer improductiva a la ladera.

En el estado de Chiapas existe una amplia variabilidad de sistemas de cultivo, que van desde sistemas comerciales hasta marginales. Cadena (2004) menciona que en Chiapas, se dedican al cultivo de maíz 860 000 hectáreas, de las cuales aproximadamente 60% se encuentran en laderas, en las que la actividad agrícola se ha realizado con un mínimo control del efecto sobre los recursos naturales. Las unidades de producción son menores de 5 hectáreas y se ubican en tierras marginales donde la degradación del suelo tiene un alto costo agroecológico que afecta su productividad, por lo que la producción obtenida es insuficiente para satisfacer las necesidades de alimentos e ingreso de las

these results, despite this microbasin presenting a greater slope steepness and length. In regards to the nutrients, there was a greater loss of nitrates in the microbasin with the system MBMV, possibly due to the nitrogen contribution by the leftovers of the pruning of *Gliricidia sepium*. In regard to phosphorous, the system MIAF displayed a greater loss, caused by the yearly phosphoric fertilization performed on the guava trees for three years.

Key words: conservation systems, erosion, hillside agriculture.

Introduction

In the tropical region of Mexico, poorly planned farming activities with no conservation practices area a threat, due to their effect on the degradation of natural resources. The problem of soil degradation by erosion with water arises especially in hillside agriculture, as a result of anthropic activities that reduce plant covers and increase the effect of natural erosion agents. Historically, erosion with water has been a basic factor for non-sustainability of unprotected hillsides in Mexico; erosion rates that surpass the permissible limits are now a commonplace (Martínez, 1983; Martínez y Lasso, 1991; Arias and Figueroa, 1992). The loss of the arable layer by this process reduces soil productivity and increases drought-related risk for crops, up to the point in which the hillside becomes improductive.

In the state of Chiapas there is a wide variety of planting systems, which range from commercial to marginal. Cadena (2004) mentions that in Chiapas, 860 000 hectares are dedicated to planting maize, out of which approximately 60% are located on hillsides, in which agriculture has been practiced with a minimal control of the effect on natural resources. Production units are less than 5 hectares in size and they are located in marginal lands, where soil degradation has a high agro-ecological cost that affects their productivity, therefore harvests are insufficient to satisfy the food and income demands of rural families. In these families, there have been losses of 22.3 t ha⁻¹ year⁻¹ of land, under the traditional management system by farmers, causing a fall in maize yields of 0.4 t ha⁻¹ year⁻¹ (Arellano and López, 2004).

The negative effect caused by soil erosion can be minimized with land management systems that reduce erosiveness of rainfall and surface runoff. Hence, it has been documented

familias campesinas. En éstas se han cuantificado pérdidas de $22.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de suelo, bajo el manejo tradicional de los productores, ocasionando una pérdida de rendimiento de maíz de $0.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Arellano y López, 2004).

El efecto negativo que causa la erosión del suelo puede minimizarse por medio de sistemas de manejo de la tierra que disminuyen la erosividad de la lluvia y el escurrimiento superficial. Así, se ha documentado que el establecimiento de barreras vivas, terrazas de muro vivo en contorno y labranza de conservación, las cuáles atrapan el escurrimiento, los sedimentos y nutrimentos, son prácticas efectivas en la conservación del suelo y agua (Ramírez y Oropeza, 2001). Como beneficios de la aplicación de estas prácticas en la productividad del suelo, se ha logrado mantener los rendimientos de los cultivos o incluso a largo plazo, incrementarlos en cierto grado, sin embargo, presentan la limitante de no presentar aportaciones importantes de otros productos que las hagan más atractivas para los productores y que logren satisfacer las necesidades económicas de la familia, motivo por el cual su adopción se ha visto limitada.

Por lo anterior, se ha propuesto el establecimiento del sistema agrícola de cultivo, denominado milpa intercalada con árboles frutales (MIAF). Este sistema es una tecnología alternativa que a diferencia de las terrazas de muro vivo y la labranza cero propone, además de la sostenibilidad ecológica, mayor diversidad de opciones alimentarias, aumentar el ingreso neto a través del año, mayor oportunidad de empleo mejor remunerado, reducción de riesgos por clima y mercado, y mayor captura de carbono. Por lo antes expuesto, este sistema resulta más atractivo para los productores de manera que actualmente se encuentra en la fase de adopción en los estados de Oaxaca, Veracruz, México y Chiapas.

Dentro del aspecto de sostenibilidad ecológica, se le atribuye al sistema MIAF la minimización del proceso erosivo de los suelos de ladera; sin embargo, no se han realizado estudios que comprueben fehacientemente lo antes dicho, excepto por un estudio realizado en Oaxaca, a nivel de lotes de escurrimiento, en el cual los resultados no son del todo concluyentes en relación al impacto de este sistema sobre el control de la erosión, ya que las lluvias presentes en la zona de estudio fueron de larga duración y baja intensidad, no contribuyendo a una manifestación importante de la remoción y transporte de sedimentos por el agua (Martínez, 2004).

that setting up plant barriers, live terraces on the edges and conservation tillage, which catch surface runoff, sediments and nutrients, are effective for the conservation of soil and water (Ramírez and Oropeza, 2001). One of the benefits of these practices on soil productivity is that yields have been maintained, and even increased to a certain extent on the long run, although, there is the limitation of not displaying any important contributions from other products that make them more attractive for farmers, and that can satisfy the financial needs of families, which is why its adoption has been limited.

Due to the above, the establishment has been proposed of the crop agricultural system, known as maize alternated with fruit trees (MIAF). This system is an alternative technology that, unlike live terraces and zero tillage, proposes environmental sustainability, a wider diversity of food options, increasing net income all year round, a better opportunity of better-paid jobs, reduction of risks due to weather and markets, and a greater carbon capture. Because of all this, this system is more attractive for farmers, and it is therefore being adopted in the states of Oaxaca, Veracruz, Mexico and Chiapas.

In regard to environmental sustainability, the MIAF takes credit for minimizing the erosive process of hillside soils. However, no-few studies have been carried out to prove this irrefutably, except for one study in Oaxaca, with rain and soil catchment plots, in which results were inconclusive in relation to the impact of this system on the control of soil erosion, since rains in the studied area were of long duration and low intensity, therefore they did not contribute in an important way to rainfall runoff and sediment transport (Martínez, 2004).

Most studies on live barrier systems, contour live terraces, conservation tillage and the MIAF system have been carried out on rain and soil catchment plots. Since these plots are small, physically limited areas, that do not allow for an integral analysis of erosion, particularly on steep hillsides, since they do not take into consideration that the erosive process in a plot has both areas, of soil removal and of soil deposition due to variants in its topography, and therefore the data on runoff and the loss of sediments are generally overestimated (Mutchler *et al.*, 1988).

Lal (1976) mentions that there are conservation practices that must only be evaluated in terms of basins, therefore one of the contributions of this study is the determination

La mayoría de las evaluaciones de los sistemas de barreras vivas, terrazas de muro vivo en contorno, labranza de conservación y el sistema MIAF, se han realizado en lotes de escurrimientos. Estos al estar circunscritos a áreas pequeñas delimitadas físicamente, no permiten un eficiente análisis integral de la erosión sobre todo en laderas abruptas, ya que no se toma en cuenta, que en realidad el proceso erosivo en una parcela presenta zonas de remoción y de depósito del suelo debido a variantes en su topografía y por consiguiente los datos de escorrentía y pérdida de sedimentos generalmente son sobreestimados (Mutchler *et al.*, 1988).

Lal (1976) menciona que hay prácticas de conservación que solo deben ser evaluadas a nivel de cuencas. Por lo que se considera que uno de los aportes de este estudio es la determinación del impacto de los sistemas de conservación de suelos antes mencionadas sobre el proceso erosivo, mediante la utilización de microcuencas hidrográficas, considerado esto como la manera más adecuada de desarrollar la investigación hidro-sedimentológica que permita un análisis integral del proceso erosivo y una extrapolación de los resultados más fiable y acorde a las condiciones reales.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia de los sistemas milpa intercalada con árboles frutales, maíz con barreras de muro vivo y maíz con labranza de conservación, en términos de escurrimiento superficial, entrega de sedimento y pérdida de nitrógeno y fósforo, en condiciones de ladera a nivel de microcuenca, definida esta como el área mínima representativa de una cuenca, en la cual los escurrimientos convergen en un cauce principal único.

Material y métodos

Este estudio se realizó en tres microcuencas aledañas de la cuenca del río Catarina, en la localidad Unión Agrarista Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México durante los meses de junio a noviembre de 2009 correspondiente al ciclo primavera-verano, bajo condiciones de temporal. Las características de las tres microcuencas se presentan en el Cuadro 1. El sitio experimental se encuentra a una altitud de 625 msnm, ubicado a los 16° 26' 49'' de latitud norte y 93° 39' 12'' de longitud oeste. De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1987),

of the impact of the soil conservation systems mentioned earlier on the process of erosion, using hydrographic microbasins, considered as the most appropriate way to carry out a hydro-sedimentological investigation that helps carry out an integral analysis of the process of erosion and an extrapolation of the most reliable results and according to real conditions.

The aim of this study was to evaluate the efficiency of maize systems alternated with fruit trees, maize with live barriers and maize in conservation tillage, in terms of surface runoff, delivery of sediments and loss of nitrogen and phosphorous, under hillside conditions, at a microbasin level, understood as the minimal representative area of a basin, in which runoffs converge in a single main bed.

Materials and methods

This study was carried out in three basins neighboring the basin of river Catarina, in Unión Agrarista, in the municipal area of Jiquipilas, Chiapas, Mexico during the months of June to November, 2009, which correspond to the spring-summer cycle, under rainfed conditions. The characteristics of the three microbasins are shown in Table 1. The experimental site is located at an altitude of 625 masl, at 16° 26' 49'' latitude north and 93° 39' 12'' longitude west. According to Köppen' classification, modified by García (1987), weather Aw1, subhumid warm, with rainfall during the summer. The annual average rainfall is 1 457 mm. Local soil is classified as Typic haplustepts, according to Soil Survey Staff (2006). It belongs to the order Inceptisol, which are immature soils with traits of profiles expressed in a weaker way than mature soils, that have a certain resemblance to the original material (Buol *et al.*, 2008). The soil's texture is light, highly compacted, with good drainage, its organic matter content is moderate, its pH is moderately acid, and it has a moderate capacity of cationic exchange.

The agricultural systems; a) maize alternated with fruit trees (MIAF), b) maize with live barriers (MBMV) and c) maize with conservation tillage (MLC), were separately established in each microbasin. These have in common that there is no rototilling, weed control is carried out with herbicides, and that maize stubble is kept on the ground as a cover, which was 30% greater in the MIAF system, and 30% less in MBMV and MLC. The MIAF system was established in June, 2007 throughout the microbasin, using

el clima es Aw1, cálido subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 1 457 mm. El suelo se clasifica como Typic haplustepts de acuerdo a Soil Survey Staff (2006). Pertenece al orden Inceptisol, que son suelos inmaduros con rasgos de perfiles expresados más débilmente que los suelos maduros y que conservan cierta semejanza con el material original (Buol *et al.*, 2008). El suelo es de textura ligera, alta compactación, drenaje bueno, contenido de materia orgánica moderado, pH moderadamente ácido y moderada capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 1. Características de las microcuencas estudiadas.
Table 1. Characteristics of the microbasins studied.

| Sistema | Área (m ²) | Forma | Longitud de la pendiente (m) | Grado de la pendiente (%) |
|---------|------------------------|---------|------------------------------|---------------------------|
| MIAF | 3 339 | Convexa | 60 | 40 |
| MBMV | 1 886 | Convexa | 48 | 30 |
| MLC | 1 515 | Convexa | 50 | 30 |

MIAF= milpa intercalada con árboles frutales; MBMV= maíz con barreras de muro vivo; MLC= maíz en labranza de conservación.

Los sistemas agrícolas; a) milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), b) maíz con barreras de muro vivo (MBMV) y c) maíz en labranza de conservación (MLC), fueron establecidos por separado en cada microcuenca. Estos tienen en común la no roturación del suelo, control de malezas con herbicidas y permanencia del rastrojo del cultivo de maíz como cobertura, misma que fue mayor 30% en el sistema MIAF y menor de 30% en MBMV y MLC. El sistema MIAF se estableció en el mes de junio del año 2007 en toda la microcuenca, mediante 7 módulos MIAF perpendiculares a la pendiente. Un módulo comprende una franja de 11 m de ancho, dividida en tres sub-franjas, una central de 4.6 m de ancho en la que en el centro (2.3 m) se plantaron a cada metro árboles de guayaba pera (*Psidium guajava*) año y medio de edad, propagados por semilla. En cada una de las dos sub-franjas laterales de 3.2 m de ancho se sembraron 2 hileras de maíz y frijol en franjas alternas de 2 hileras (Figura 1). De esta manera, el maíz y el frijol ocuparon 58% del terreno, y los árboles frutales 42% restante, con una densidad de plantación intensiva y compacta de 909 árboles por hectárea. A lo largo de la hilera de árboles sobre el lado aguas arriba, se colocó de 2007 a 2009, un filtro de escurrimientos a base de rastrojo de maíz, frijol y residuos de la poda, sostenido por los troncos de los árboles.

7 MIAF modules, perpendicular to the slope. A module is made up of a strip, 11 m wide and divided into three substrips. The central one, 4.6 m wide and in the middle of which (2.3 m) year and a half old common guava trees (*Psidium guajava*) were planted every meter, spread by seeds. In each of the two lateral substrips, 3.2 m wide, 2 rows of maize and beans were planted in alternate strips of 2 rows (Figure 1). In this way, maize and beans occupied 58% of the ground, and fruit trees took up the remaining 42%, with an intensive and compact plantation density of 909 trees per hectare. Between 2007 and 2009, along the row

of trees, on the upstream side, a runoff filter was placed, which was based on maize and bean stubble and residues from pruning, held by the tree trunks.

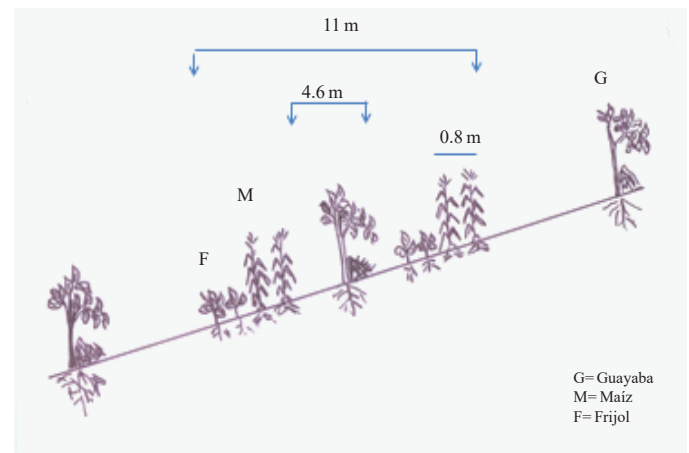


Figura 1. Diseño del establecimiento del sistema milpa intercalada con árboles frutales.
Figure 1. Design of the establishment of the maize alternated with fruit tree system.

The MBMV system consisted in *Gliricidia sepium* hedges in contour. The horizontal distance between hedges was determined at 12 m according to the slope and vertical

El sistema MBMV consistió en setos en contorno con *Gliricidia sepium*. La distancia horizontal entre setos se determinó a 12 m en función de la pendiente e intervalo vertical (López *et al.*, 2000), que se considera un distanciamiento que permite un número adecuado de hileras de maíz y sin que dificulte las prácticas de cultivo. En la parte superior aguas arriba de cada barrera se instaló un filtro de escurrimientos con residuos de cosecha de maíz y poda de los setos de *Gliricidia* (Turrent *et al.*, 1995). El sistema MLC consistió en dejar en el campo como cobertura 20% de rastrojo de maíz remanente después de la práctica común de pastoreo de los bovinos. Para maíz y frijol se utilizaron las variedades V-424 y Negro Grijalva a densidades de 50 000 y 250 000 plantas ha⁻¹ respectivamente. Las precipitaciones se midieron de forma continua de junio a octubre de 2009 por concentrarse estas en ese periodo, mediante una caseta consola vantage pro automatizada marca Davis, que tiene como característica el registro sucesivo de una lámina acumulada de 0.5 mm de precipitación cada 5 min. Esta se ubicó de manera que la precipitación medida fuera válida para las tres microcuencas que se encontraban aledañas. Para cada evento se elaboraron pluviogramas y se obtuvo la cantidad e intensidad máxima de la lluvia en 30 min (Foster *et al.*, 1981). Con estos datos se calculó la energía cinética y el índice de erosividad por evento y para todo el periodo de evaluación como la suma de estos (Wischmeier y Smith, 1978). Para evaluar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo, se instalaron en la salida de cada microcuenca; a) un vertedor tipo H con descarga máxima de 56.6 L s⁻¹, al que se le instaló una malla aguas arriba para retener gravas y piedras grandes; b) leveloggers Solinst previamente calibrados con un limnógrafo Rossbach tipo Stevens F-95 de resolución múltiple, que medía la lámina de agua del vertedor cada 5 min; y c) rueda muestreadora tipo Coshocton, con capacidad para seleccionar un centésimo del escurrimiento.

La colecta del escurrimiento y sedimento se realizó en dos recolectores con capacidad de almacenamiento de 400 L. Con el volumen de agua captado se calculó el escurrimiento superficial por evento, y mediante la suma de todos los eventos, se cuantificó el escurrimiento anual en cada microcuenca. El coeficiente de escurrimiento se obtuvo por medio del cociente entre la lámina escurrida y la precipitada y el índice de degradación específica por medio del cociente entre la producción de sedimentos y el área de cada microcuenca (Becerra, 2005). La entrega de sedimentos en cada evento de lluvia, se determinó tomando una muestra de agua con sedimentos totales en suspensión, que se secó a 105 °C en una estufa de aire forzado. Por medio de la técnica de regresión en Microsoft® Excel se realizaron determinaciones de las

interval (López *et al.*, 2000), which is considered a distance that permits an adequate number of rows of maize, without hindering the sowing practices. In the higher part, upstream from each barrier, a runoff filter was installed, with residues from the maize harvest and pruning of the *Gliricidia* hedges (Turrent *et al.*, 1995). The MLC system consisted in leaving 20% of the maize stubble on the ground after sheep grazing. For maize and beans, the varieties V-424 and Negro Grijalva were used, respectively, at densities of 50 000 and 250 000 plants ha⁻¹ respectively. Rainfalls were continuously measured from June to October 2009, which is when they are most frequent, using a Davis pro automated vantage console booth, which successively records an accumulated sheet of 0.5 mm of rain every 5 min. It was located in such a way that the rainfall measured was valid for the three neighboring microbasins. Rainfall charts were created for each event, and the highest rain intensity was taken in 30 min (Foster *et al.*, 1981). These data were used to calculate the kinetic energy and the erosiveness index per event and for the entire evaluation period as the sum of these (Wischmeier and Smith, 1978). To evaluate surface runoff and soil loss, we installed at the way out of each microbasin: a) a type H spillway H with a maximum discharge of 56.6 L s⁻¹, which was installed a mesh upstream to hold gravel and larger rocks; b) solinst leveloggers, previously calibrated with a Rossbach Stevens F-95 multiple resolution limnigraph, which measured the sheet of water of the spillway every 5 min; and c) a Coshocton sampling wheel, with the capacity to select one hundredth of the runoff.

Runoff and sediment were gathered in two collectors with a storage capacity of 400 L. With the volume of water gathered, we calculated the surface runoff per event, and with the sum of all events, we quantified the annual runoff in each microbasin. The runoff coefficient was obtained with the quotient between the runoff sheet and rainfall, and the index of specific degradation was obtained with the quotient between the production of sediments and the area of each microbasin (Becerra, 2005). The delivery of sediments in each rain event was determined by taking a sample of water with total sediments in a suspension, which was dried at 105 °C in a forced-air kiln. Using the regression technique and Microsoft® Excel, we determined the relationships between rain, surface runoff, indices of rain erosiveness and loss of sediments, as well as the statistical T test for the variables of runoff sheet and sediment production in each system established in each of the three microbasins. The determination of total nitrites, nitrates and phosphorous in the runoff water was carried out in six cases of greater rainfall, due to economic restrictions. For this, a 1 L sample

relaciones entre la lluvia, escurrimiento superficial, índices de erosividad de la lluvia y pérdida de sedimentos, así como la prueba estadística de T para las variables lámina escurrida y producción de sedimentos en cada sistema establecido en cada una de las tres microcuencas. La determinación de nitritos, nitratos y fósforo total del suelo y del agua de escorrentía, se realizó en seis eventos de mayor precipitación pluvial, debido a restricciones económicas. Para ello se tomó una muestra de 1 L de agua con suelo en suspensión, la cual se almacenó a 4 °C. El análisis consistió en determinar las formas solubles de $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$ y fósforo total. Los nitratos se evaluaron por colorimetría con ácido nitrofenoldisulfónico y los nitritos por colorimetría con Diazotocinas (Cataldo *et al.*, 1975). El fósforo total en el suelo se evaluó por Olsen y en agua por colorimetría con cloruro estanoso (Allan, 1971).

Resultados y discusión

Lluvia

La precipitación pluvial de junio a noviembre de 2009, fue de 1 055 mm distribuida en 59 eventos de lluvia. El 49% (497 mm) de la precipitación se concentró en los meses de junio y julio. Del total de eventos lluviosos, 54% presentaron erosividad, y 15% con precipitación mayor a 40 mm e intensidades de 11 a 22 MJ ha representaron 62% de la erosividad anual de la lluvia. Veintisiete eventos (46%) no presentaron potencial erosivo con precipitaciones menores a 12 mm y de baja intensidad $< 25 \text{ mm h}^{-1}$ (Cuadro 2), de acuerdo con la clasificación de lluvias erosivas (Hudson, 1981). Esto último resulta similar a lo observado en condiciones tropicales por López y Anaya (1994) en laderas de la Frailesca, Chiapas y Pérez *et al.* (2005) Veracruz, México. El índice de erosividad de la lluvia EI30 presentó alta relación de dependencia lineal $R^2 = 0.87$ con la precipitación, descrita por la ecuación $Y = -275.3 + 26.0 X$, lo cual coincide con Pérez *et al.* (2005), quienes determinaron esta relación con una $R^2 = 0.75$ para una precipitación anual de 2 228 mm.

of muddy water was taken and stored at 4 °C. The analysis was consisted of determining the soluble forms of $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$ and total phosphorous. Nitrates were evaluated using colorimetry with nitrophenoldisulphonic acid, and nitrites by colorimetry with Diazotocins (Cataldo *et al.*, 1975). The total phosphorous in the soil was evaluated by Olsen, and in water, by colorimetry with stannous chloride (Allan, 1971).

Results and discussion

Rain

Total rainfall from June to November 2009, was 1,055 mm distributed in 59 rainfall events. Out of this, 49% (497 mm) fell in the months of June and July, 54% displayed erosiveness and 15% were over 40 mm and intensities between 11 and 22 MJ accounted for 62% of the annual rainfall's erosiveness. Twenty-seven events (46%) showed no erosive potential, with rainfalls of less than 12 mm and low intensities $< 25 \text{ mm h}^{-1}$ (Table 2), according to the classification of erosive rains (Hudson, 1981). This is similar to what López y Anaya (1994) observed in tropical conditions in hillsides of La Frailesca, Chiapas, and to what Pérez *et al.* (2005) observed in Veracruz, Mexico. The erosiveness index of rainfall EI30 presented a high relation of linear dependence $R^2 = 0.87$ with rainfall, described by equation $Y = -275.3 + 26.0 X$, which agrees with Pérez *et al.* (2005), who determined this relation with a $R^2 = 0.75$ for an annual rainfall of 2 228 mm.

Surface runoff and soil loss

Out of the 59 showers, 32 presented surface runoff and sediment production. The lowest values of annual runoff, runoff coefficient and sediment production of MIAF and Similar results were obtained from the MIAF system with MBMV systems, respectively (Table 3), show the kindness

Cuadro 2. Lluvia y erosividad en la microcuenca Santa Catarina, Jiquipilas, Chiapas.

Table 2. Rain and erosiveness in the microbasin of Santa Catarina, Jiquipilas, Chiapas.

| Clase (mm) | Eventos (Núm.) | (%) del total | Precipitación (mm) | Intensidad mm h^{-1} | Erosividad total ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) | (%) del total |
|------------|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------|---|---------------|
| 0.2- 12 | 27 | 45.8 | 107.0 | < 25 | - | - |
| 13 - 26 | 17 | 28.8 | 250.4 | 32 | 2 571 | 14.6 |
| 27 - 40 | 6 | 10.2 | 209.0 | 55 | 4 089 | 23.1 |
| 40 | 9 | 15.2 | 498.8 | 140 | 10 989 | 62.3 |
| Total | 59 | 100 | 1055 | | 17 649 | 100 |

Escurrimiento superficial y pérdida de suelo

De los 59 eventos de lluvia, 32 presentaron escorrimento superficial y producción de sedimentos. Los valores más bajos de escorrimento anual, coeficiente de escorrimento y producción de sedimentos de los sistemas MIAF y MBMV, respectivamente (Cuadro 3), demuestran la bondad de ambos sistemas agroforestales en la conservación del suelo y agua. Resultados similares han sido obtenidos en el sistema MIAF con árboles de durazno de tres años de edad (Martínez, 2004), maíz con terrazas de muro vivo en los Tuxtlas, Veracruz por (Francisco *et al.*, 2005 y Uribe *et al.*, 2002) y maíz con barreras vivas en La Frailesca, Chiapas (Ramírez y Oropeza, 2001). El escorrimento superficial con una relación lineal positiva con la precipitación anual $R^2= 0.83$ y el índice de erosividad $R^2= 0.74$, coincide con los resultados de Francisco *et al.* (2005) y Pérez *et al.* (2005) en el sentido que para condiciones de manejo con sistemas agroforestales, el escorrimento superficial depende más de la cantidad y en segundo lugar de la intensidad de la lluvia.

of both agroforestry systems in soil and water conservation. three-year-old peach trees (Martínez, 2004), maize with live terraces in Tuxtlas, Veracruz by (Uribe *et al.*, 2002; Francisco *et al.*, 2005) and maize with live barriers in Frailesca, Chiapas (Ramírez and Oropeza, 2001). Surface runoff with a positive linear relationship with annual rainfall $R^2= 0.83$ and the erosiveness index $R^2= 0.74$, coincides with results by Francisco *et al.* (2005) and Pérez *et al.* (2005) in the sense that for conditions of management with agroforestry systems, surface runoff depends more on the amount of rain than on its intensity.

The production of sediments in each microbasin is not considered the most recommendable estimator, since the three microbasins have different areas, and this influences the magnitude of the sediments to be evaluated. For this reason, we used specific degradation, which, along with surface runoff, were statistically different for each management systems. The MLC system displayed a higher value in 68 mm and 11 t ha^{-1} , for runoff and specific degradation, respectively,

Cuadro 3. Escorrimento superficial y pérdida de suelo por sistema de manejo.

Table 3. Surface runoff and soil loss due to management system.

| Sistema de manejo | Área (m ²) | Escorrimento superficial (mm) | Coeficiente de escorrimento (%) | Producción Sedimento ¹ (t año ⁻¹) | Degradación específica (t ha ⁻¹) |
|-------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|--|
| MIAF | 3 339 | 137.5 a | 12.4 | 1.9 | 5.8 a |
| MBMV | 1 880 | 142.7 a | 13.1 | 1.2 | 6.3 a |
| MLC | 1 515 | 205.0 b | 18.6 | 2.5 | 16.8 b |

¹La producción de sedimento y pérdida de suelo evaluada en la época de lluvias correspondiente a los meses de junio a noviembre de 2009; MIAF= milpa intercalada con árboles frutales; MBMV= maíz con barreras de muro vivo; MLC= maíz en labranza de conservación. Letras diferentes entre tratamientos para el escorrimento y pérdida de suelo, indican diferencias significativas al nivel de 0.05 de probabilidad para una prueba de T con varianzas iguales.

Se considera que la producción de sedimentos en cada microcuenca no es el estimador más recomendable en virtud que las tres microcuencas presentan diferente área y esto influye sobre la magnitud de los sedimentos evaluados. Por ello se utilizó la degradación específica, la cual conjuntamente con el escorrimento superficial fueron estadísticamente diferentes entre los sistemas de manejo. El sistema MLC presentó un valor superior en 68 mm y 11 t ha^{-1} , de escorrimento y degradación específica respectivamente, en comparación al sistema MIAF (Cuadro 3). El valor de 16.8 t ha^{-1} en MLC es superior aunque por poco margen al límite permisible de 12 t ha^{-1} (El-Swaify, 1993), y presenta una amplia diferencia a los reportados por Ramírez y Oropeza (2001) en la Frailesca, Chiapas y Uribe *et al.* (2002) y Francisco *et al.* (2005) en Los Tuxtlas, Veracruz, de 0.2, 1 y 2.4 t ha^{-1} respectivamente, en condiciones tropicales incluso con 350 mm de lluvia, superior a la presentada en este estudio. Lo

than the MIAF system (Table 3). The value of 16.8 t ha^{-1} is higher in MLC, although by a small margin, to the permissible limit of 12 t ha^{-1} (El-Swaify, 1993), and shows a large difference to those reported by Ramírez and Oropeza (2001) in La Frailesca, Chiapas, and Uribe *et al.* (2002) and Francisco *et al.* (2005) in Los Tuxtlas, Veracruz, of 0.2, 1 and 2.4 t ha^{-1} respectively, under tropical conditions, even with 350 mm of rain, higher to what is being presented in this study. This may be due to the MLC system being managed with less than 30% of maize stubble (1.3 t ha^{-1}), caused by overgrazing in times of water scarcity (Nieuwkoop *et al.*, 1992), which is insufficient to protect the ground from detachment and removal (FAO, 2000), and resulting in a more prolonged exposure to erosion agents. This brings forth the need to modify this practice, so as to become a pro-sustainable soil management alternative in conditions of high rainfall and rain intensity in hillside terrains.

anterior puede deberse a que el sistema MLC estuvo manejado con menos de 30% de residuos de rastrojo de maíz (1.3 t ha^{-1}), ocasionado por la práctica de sobrepastoreo en la época de estiaje (Nieuwkoop *et al.*, 1992), lo cual resulta insuficiente para proteger el suelo del desprendimiento y remoción (FAO, 2000) exponiéndose mayor tiempo a los agentes erosivos. Lo anterior plantea la necesidad de modificar esta práctica, a manera que constituya una alternativa de manejo de suelo pro-sostenible en condiciones de alta precipitación e intensidad de lluvias en terrenos de ladera.

Aunque puede ser observable la comparación de los resultados obtenidos en microcuencas de diferentes características, el mayor escurrimiento y pérdida de suelo en el sistema MLC confirma el alto riesgo de degradación de los suelos en las regiones tropicales, por las características de su clima, la baja estabilidad de sus suelos y el manejo inadecuado de los recursos naturales (Lal y Stewart, 1990). Entre los sistemas MIAF y MBMV no se observó diferencia significativa; no obstante es importante destacar la eficiencia del sistema MIAF, al estar establecido en una microcuenca con mayor grado y longitud de la pendiente. Lo anterior se atribuye por una parte, a la siembra alterna de hileras de frijol. La cual debido a su rápido crecimiento vegetativo, procura una excelente cobertura protegiendo al suelo de su remoción por el impacto de las gotas de lluvia, así como el fortalecimiento del filtro de escurrimientos con material producto de la poda de los árboles de guayaba y rastrojo de maíz y frijol. Así también en terrazas de muro vivo con 8 años de manejo se han determinado menores cantidades de suelo erosionado, lo cual difiere de los sistemas bajo estudio con tres años de establecidos. Por lo tanto, se espera que es posible minimizar el escurrimiento y pérdida de suelo conforme los sistemas se estabilicen aún más, se fortalezca el filtro de escurrimiento y se incremente la cantidad de residuos de cosecha como cobertera a través de los años.

En la Figura 2, se muestra la relación de la producción de sedimentos en función del escurrimiento, apreciándose que en los tres sistemas, la relación entre ambas variables fue lineal. En consecuencia, al aumentar el escurrimiento en cada evento, se incrementó la producción de sedimentos. Este incremento sucedió en diferente escala por las distintas eficiencias asociadas a los sistemas de manejo del suelo. Las ecuaciones que relacionan la producción de sedimento y escurrimiento en MIAF y MBMV presentaron la más baja R^2 , mientras que la mayor R^2 fue para LT. Así también sobresale que la mayor pendiente se asoció a la ecuación del sistema LT, lo que implica mayor potencial de producción de sedimentos, por la ausencia de prácticas para disminuirlo.

Although the comparison of results from microbasins with different characteristics can be observed, the greatest runoff and soil loss in the MLC system confirms the high risk of soil degradation in tropical areas, due to the characteristics of the climate, the low soil stability and the inadequate management of natural resources (Lal and Stewart, 1990). No significant difference was observed between the MIAF and MBMV systems. However, it is important to point out the efficiency of the MIAF system, since it is established in a microbasin with a steeper and longer slope. This can be explained, on the one hand, by the alternate plantation of bean plants, which, due to its rapid growth, is an excellent cover that protects the soil from being removed by the impact of raindrops, as well as the strengthening of the runoff filter with material from the guava tree pruning, and maize and bean stubble. Likewise, in live terraces with 8-year long management, lower amounts of eroded soil have been determined, which differs with the systems studied here, which have been managed for 3 years. Therefore, it is expectedly possible to minimize the runoff and soil loss as systems stabilize, the runoff filter strengthens and the amounts of harvest residues, as coverage, increase with the years.

Figure 2 shows the relation of the production of sediments according to runoff; we can see that in all three systems, the relation between both variables was linear. Consequently, with the increase in runoff in each rainfall, sediment production increased. This increase occurred in different scales due to the different deficiencies related to the soil management systems. The equations that relate the production of sediments and runoff in MIAF and MBMV presented the lowest R^2 , whereas the highest R^2 was for LT. The fact that the steepest slope was related to the equation of the LT system also implies a greater potential of sediment production, due to the lack of practices to reduce this.

Loss of nutrients

In the three management systems, nitrogen content in the form of nitrates and nitrites was greater in runoff water, and for total phosphorous in the sediment. The total content of both nutrients (water + sediment) except for nitrate in the case of MBMV, are similar in all three systems; however, if we consider the total magnitude of the water that has run off between them exposed earlier, lost nutrients are more in the system MLC (Table 4). This can have negative implications in the yield and pollution of the water table, since it indicates

Pérdida de nutrimentos

En los tres sistemas de manejo el contenido de nitrógeno en forma de nitratos y nitritos fue mayor en el agua de escurrimiento, y para fósforo total en el sedimento. El contenido total de ambos nutrientes (agua+sedimento) excepto por el nitrato en el caso de MBMV, son similares en los tres sistemas; sin embargo, si se considera la magnitud total de agua escurrida entre ellos expuesto anteriormente, los nutrimentos perdidos resultan mayores en el sistema MLC (Cuadro 4). Lo anterior puede tener implicaciones negativas en el rendimiento y en la contaminación del manto freático ya que indica que incluso cuando un sistema de conservación permita disminuir la pérdida de suelo, existe cierta cantidad de nutrimentos en el agua escurrida que se transportan a las cuencas bajas.

Los contenidos de nutrimentos en el escurrimiento (agua + sedimento) tienden a ser menores para los sistemas MIAF y MBMV, excepto por la concentración de nitratos que es mayor en el sistema MBMV y fósforo total en MIAF (Cuadro 4). El primer caso resulta similar a lo obtenido por Uribe *et al.* (2002), quien lo atribuye a los aportes de nitrógeno por la descomposición del follaje de *Gliricidia* producto de la poda. En este estudio se incorporaron al filtro de sedimentos, durante dos años 2.2 kg de follaje de *Gliricidia* por metro lineal de barrera el cual contiene 4% de nitrógeno Gómez *et al.* (1996). La mayor cantidad de fósforo en MIAF, se explica porque el suelo ha recibido una cantidad mayor de este elemento del orden de 82 kg ha⁻¹ año a través de la fertilización que se realiza a los árboles de guayaba, durante tres años.

La pérdida de nitratos y fósforo en la microcuenca con el sistema MBMV es mayor a lo reportado por Uribe *et al.* (2002) en terrazas de muro vivo con tracción animal TMVTA en un Entisol de Veracruz, México. Esta diferencia está asociada a un mayor escurrimiento y una pérdida de suelo de 6.3 t ha⁻¹ año para MBMV, respecto a 2.8 t ha⁻¹ año para TMVTA. Específicamente para fósforo, es necesario plantear formas orgánicas de fertilización que suplan en cierta medida la fertilización fosfórica química, para de esta manera contribuir a minimizar el riesgo de eutrofización de los cuerpos de agua causado por el lavado y consecuente aumento de fosfatos.

Tiscareño *et al.* (1997) mencionan que la labranza de conservación es una opción para disminuir la pérdida de suelo hasta 80%, reducir la fuga de nutrimentos 73% y disminuir los escurrimientos superficiales 76% en relación con la labranza tradicional. En este sentido y de acuerdo a los trabajos de Uribe

that although a conservation system helps reduce soil loss, there is a certain amount of nutrients in run off water that are transported to lower basins.

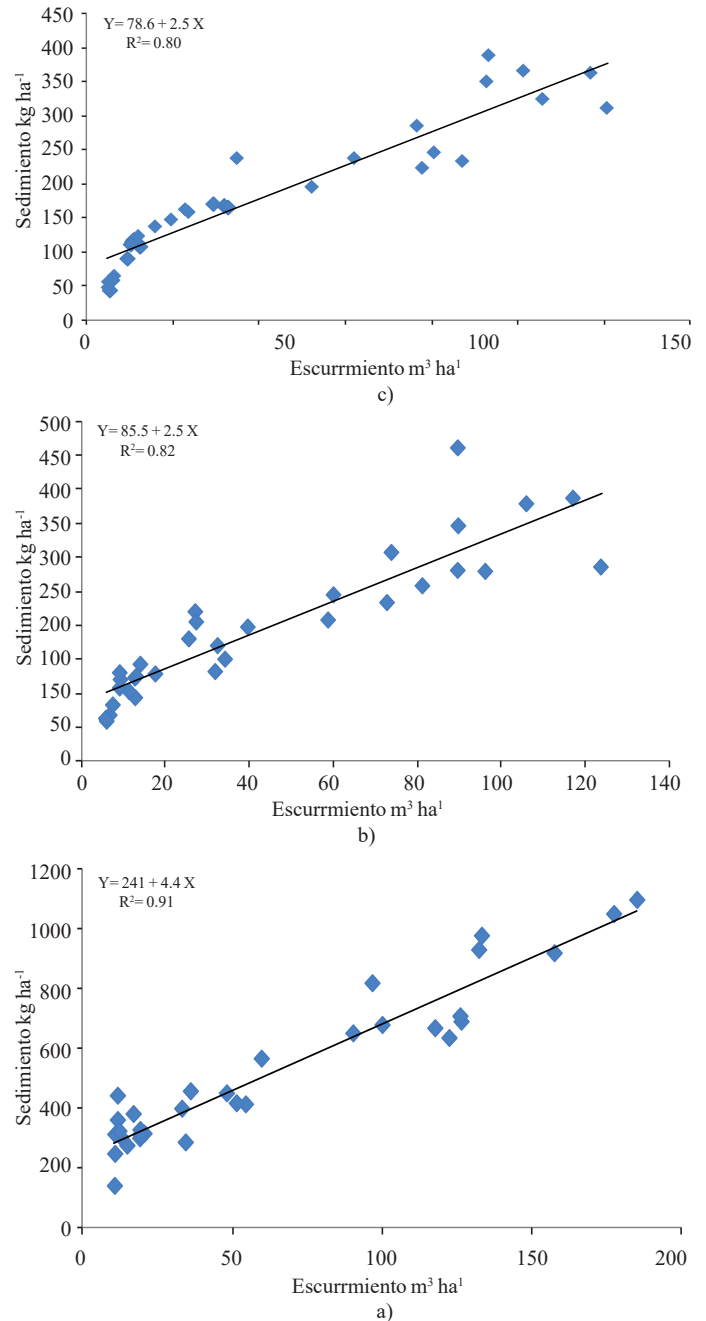


Figura 2. Relación de la pérdida de suelo (Y, kg ha⁻¹) con el escurrimiento (X, L ha⁻¹) para los sistemas: a) maíz en labranza de conservación; b) maíz con barreras de muro vivo; y c) milpa intercalada con árboles frutales.
Figure 2. Relation of soil loss (Y, kg ha⁻¹) with runoff (X, L ha⁻¹) for the systems: a) maize in conservation tillage; b) maize with live barriers; and c) maize alternated with fruit trees.

et al. (2002), se esperaba que el sistema MLC presentará un escurrimiento, pérdida de suelo y nutrientes similares a los sistemas MIAF y MBMV; sin embargo, esto no fue así, y se debe a que estos procesos están asociados a factores hidrológicos, edáficos y de manejo en los sistemas de producción (Haygarth y Jarvis, 1999). En este caso se considera obedece a que las microcuencas están localizadas en condiciones de laderas abruptas de fuerte pendiente, en donde la cobertura de rastrojo de maíz menor 30% no representó una buena protección al impacto de las lluvias, remoción y transporte de las partículas del suelo. De hecho en estas condiciones, incluso una mayor cobertura no es suficiente para controlar el proceso erosivo, siendo necesario incluir otras prácticas de conservación como serían las barreras de muro vivo.

The nutrient contents in the runoff (water + sediment) tend to be lower for systems MIAF and MBMV, except for the concentration of nitrates that is higher in the system MBMV and total phosphorous in MIAF (Table 4). The first case is similar to results by Uribe *et al.* (2002), who claims it is caused by nitrogen contributions from the decomposition of *Gliricidia* foliage due to pruning. In this study, 2.2 kg of *Gliricidia* foliage were incorporated for two years into the sediment filter per meter of the barriers, which contained 4% nitrogen Gómez *et al.* (1996). The greatest amount of phosphorous in MIAF can be explained because the soil has received a greater amount of this element, 82 kg ha⁻¹ each year, with the fertilization carried out on the guava trees, for three years.

Cuadro 4. Pérdida de nutrientes en el suelo de tres sistemas de conservación.

Table 4. Loss of nutrients in the soil in three conservation systems.

| Nutrimento | MIAF | | | MBMV | | | MLC | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-------|----------------|------------------------------------|-------|----------------|------------------------------------|-------|----------------|
| | Promedio 6 eventos ¹ | | Total (ppm) | Promedio 6 eventos ¹ | | Total (ppm) | Promedio 6 eventos ¹ | | Total (ppm) |
| | Agua | Suelo | | Agua | Suelo | | Agua | Suelo | |
| NO ₃ ⁻ (ppm) | 9.2 | 3.8 | 13.0 | 26.3 | 5.6 | 31.9 | 12.3 | 5.0 | 17.3 |
| NO ₂ ⁻ (ppm) | 5.3 | 1.1 | 6.4 | 4.6 | 0.8 | 5.4 | 3.8 | 2.1 | 5.9 |
| P total ppm) | 0.4 | 15.0 | 15.4 | 0.4 | 10.3 | 10.7 | 0.7 | 21.1 | 21.8 |

MIAF= milpa intercalada con árboles frutales; MBMV= maíz con barreras de muro vivo; MLC= maíz en labranza de conservación; Esc= escurrimiento total en el período de lluvias de junio a noviembre de 2009. ¹Seis eventos de máxima precipitación de junio a noviembre de 2009. 16, 24 y 28 de junio; 10 de julio; 19 de septiembre y 5 de octubre, con precipitaciones de 40 a 76 mm. ²Se refiere a la pérdida de nitrato, nitrito y fósforo en el promedio de los seis eventos.

Conclusiones

El sistema milpa intercalada con árboles frutales y maíz con barreras de muro vivo presentaron la menor producción de sedimentos a nivel de microcuencas.

El sistema milpa intercalada con árboles frutales presentó mayor pérdida de fósforo total, respecto a maíz con barreras de muro vivo, y este a la vez la mayor pérdida de nitratos con respecto a los otros dos manejos, lo que se atribuye a características inherentes al manejo de cada sistema. En el primer caso al aporte adicional de fósforo que se realiza al sistema al fertilizar los árboles frutales durante tres años. En el segundo por el aporte de follaje rico en nitrógeno, producto de la poda de los setos de *Gliricidia sepium*.

El sistema maíz con labranza de conservación presentó los valores más altos de pérdida de suelo, el cual se encuentra por arriba de los límites permisibles de 12 t ha⁻¹. De igual manera

The loss of nitrates and phosphorous in the microbasin with the MBMV system is higher than what was reported by Uribe *et al.* (2002) in live terraces with animal traction TMVTA in an Entisol in Veracruz, Mexico. This difference is related to more runoff and a loss of soil of 6.3 t ha⁻¹ a year for MBMV, compared to a 2.8 t ha⁻¹ a year for TMVTA. Specifically for phosphorous, organic forms of fertilization must be proposed, that replace to some extent chemical phosphoric fertilization, in order to minimize the risk of eutrophication of bodies of water caused by runoff and a consequential increase of phosphates.

Tiscareño *et al.* (1997) mention that conservation tillage is an option to reduce soil loss up to 80%, reduce the loss of nutrients by 73% and reduce surface runoff by 76%, in comparison to traditional tillage. In this sense, and according to work by Uribe *et al.* (2002), the MLC system was expected to present runoff, soil loss and nutrients similar to systems MIAF and MBMV. However, it was not

fue para el escurrimiento y pérdida de nutrimentos, lo que se encuentra asociado a la poca cantidad de rastrojo dejada por el pastoreo intensivo. Siendo necesario modificar esta práctica a manera que constituya una alternativa de manejo de suelo pro-sostenible en condiciones de alta precipitación e intensidad de lluvias en terrenos de ladera.

Los sistemas milpa intercalada con árboles frutales y maíz con barreras de muro vivo, son opciones técnicamente eficientes para el control de la erosión en condiciones de suelos de ladera y altas precipitaciones.

Literatura citada

- Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, Walnut Creek, California. 15 p.
- Arellano, M. J. L. y López, M. J. 2004. Memorias. Tercer seminario sobre manejo y conservación el suelo y agua en Chiapas. Manejo Integral de Cuencas. 50 p.
- Arias, H. M. y Figueroa, B. 1992. La ecuación universal de pérdidas de suelos en la cuenca del Río Texcoco. *Terra*. 10(2):257-261.
- Becerra, M. A. 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 186 p.
- Buol, S. W.; Hole, F. D. and McCracken, R. J. 2008. Génesis y clasificación de suelos. Editorial Trillas. México. 270 p.
- Cadena, I. P. 2004. Actores, estrategias y dinámicas de organización en el agro de La Frailesca, Chiapas, Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 145 p.
- Cataldo, D. A.; Haroo, M. L. E. and Youngs, V. L. 1975. Rapid colometric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communication Soil Sci. Plant Analysis* 6:71-80.
- El-Swaify, S. A. 1993. Soil erosion and conservation in the humid tropics. *In*: Pimentel, D. (ed.). *World soil erosion and conservation*. Cambridge University Press. Cambridge, U. K. 233-235 pp.
- Francisco, N. N.; Turrent, F. A.; Oropeza, M. J. L.; Martínez, M. M. y Cortés, F. J. I. 2005. Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra*. 24:253-260.

the case, and it is due to the fact that these processes are related to hydrological and soil factors, and to production systems (Haygarth and Jarvis, 1999). In this case, it is thought to respond to the microbasins being located in steep hillside conditions, where the coverage of maize stubble below 30% was not a proper protection from the impact of rains, removal and y transport of the soil particles. In fact, under these conditions, not even a greater coverage is enough to control erosion, and other conservation practices must be included, such as live barriers.

Conclusions

The system of maize alternated with fruit trees and live barriers produced the least amount of sediments in the microbasin.

The system of maize alternated with fruit trees presented the greatest loss of total phosphorous, in comparison to maize in plant barriers, and the latter, likewise, presented the greatest loss of nitrates in comparison to the two other systems, which is due to characteristics inherent to the management of each system. In the first case, the additional phosphorous contributed when fertilizing fruit trees for three years. In the second case, the contribution of nitrogen-rich foliage, as a consequence of pruning the *Gliricidia sepium* hedges.

The system of maize with conservation tillage resented the highest soil loss values, which was above the permissible limits of 12 t ha⁻¹. This was also true for runoff and nutrient loss, which is related to the little amount of stubble left by intensive grazing. For this reason it was

necessary to modify this practice so it becomes a pro-sustainable soil management alternative under conditions of high rainfall and rain intensity in hillside soils.

The systems of maize alternated with fruit trees and maize with live barriers, are technically efficient options for the control of erosion under conditions of hillsides and high rainfalls.

End of the English version



- Foster, G. R.; McCool, D. K.; Renard, K. G. and Moldenhauer, W. C. 1981. Conversion of the universal soil loss equation (USLE) to SI metric units. *J. Soil and Water Cons.* 36:355-359.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 4ª ed. México, D. F. 217 p.
- Gómez, M. E.; Molina, C. H.; Molina, E. J. y Murgueito, E. 1996. Producción de biomasa en 6 ecotipos de matarratón (*Gliricidia sepium*). CIPAV. Livestock research for rural development. Online edition. <http://www.lrrd.org/lrrd2/3/cont23.htm>.
- Haygarth, P. M. and Jarvis, S. C. 1999. Transfer of phosphorus from agricultural soils. *Adv. In: Agronomy.* 66:195-249.
- Hudson, N. 1981. Soil conservation. Second Ed. Cornell University Press. Ithaca, NY., USA. 324 p.
- Lal, R. 1976. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria. III. Effects of rainfall characteristics. *Geoderma.* 16(15):389-401.
- Lal, R. and Stewart, B. A. 1990. Soil erosion and land degradation: the global risks. *Advances Soil Sci.* 11:129-172.
- 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.
- López, B. W.; Camas, G. R. y López, M. J. 2000. Sistemas agroforestales con *Gliricidia sepium* para controlar erosión de los en el trópico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur, Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla, Chiapas. Folleto técnico Núm. 10. 64 p.
- Martínez, M. M. 1983. Perspectivas técnicas sobre la conservación y productividad de los suelos en México. *Terra.* 1:24-30.
- Mutchler, C. K.; Murphree, C. E. and McGregor, K. C. 1988. Laboratory and field plots for soil erosion studies, in Lal (ed.): soil erosion research methods. SWCS Publ., Ankeny. 9-38 pp.
- Martínez, M. y Lasso, L. M. 1991. Efecto de la labranza tradicional y la labranza de conservación para el control de la erosión en el cultivo del maíz (*Zea mays*) bajo condiciones de temporal. *Terra.* 9(1):97-103.
- Martínez, M. M. 2004. Proyecto manejo sustentable de laderas. Caracterización geográfica y medición de escurrimientos. Informe 2004. Colegio de Postgraduados. http://www.colpos.mx/proy_rel/ladera/SubproyectoA.htm.
- Nieuwkoop, V. M.; López, B. W.; Zamarripa, M. A.; Cadena, I. P.; Villar, S. B. y de la Piedra, C. R. 1992. Uso y Conservación de los Recursos Naturales en La Frailesca, Chiapas. Un diagnóstico. México. D. F. CIMMYT. 47 p.
- Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO). 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelo. Boletín de tierras y agua de la FAO No. 8. Roma, Italia. 220 p.
- Pérez, N. J.; Valdez, V. E.; Hernández, M. S. R. y Ordaz, C. V. 2005. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en tres sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Agrociencia.* 39(4):409-418.
- 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.
- Soil Survey Staff. 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Traducción al español de Ortiz, S. C. A. y Gutiérrez, C. Ma. C. Programa de Edafología. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. 325 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.* Centro Nacional de Investigación para Producción Sostenible. INIFAP. Michoacán, México. Libro técnico Núm. 1. 107-122 pp.
- Turrent, F. A.; Uribe, G. S.; Francisco, N. N. y Camacho, C. R. 1995. La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México. I. Análisis del desarrollo de las terrazas durante 6 años. *Terra.* 13(3):276-298.
- Uribe, G. S.; Francisco, N. N. y Turrent F. A. 2002. Pérdida de suelo y nutrientes en un Entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36:161-168.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion-a guide to conservation planning. USDA Agri. Handb. Núm. 537. US. Government Printing Office, Washington D. C. 58 p.