

Indicadores de calidad de un suelo para la producción de maíz bajo sistemas agroforestal y monocultivo*

Indicators of soil quality for maize production under agroforestry systems and monoculture

Andrés Camilo Rodríguez Serrano¹, David Cristóbal Acevedo¹, Edna Álvarez Sánchez¹ y Miguel Uribe Gómez^{1§}

¹Posgrado en Ciencias Agroforestería para el Desarrollo Sostenible- Universidad Autónoma Chapingo. Carretera. México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco 56230, Estado de México. Tel: 595 952 1540. (camilo303@hotmail.com; cristobalacevdo@yahoo.com.mx; edna_alvarez30@yahoo.com.mx; etnoagronomial@gmail.com).

[§]Autor para correspondencia: migueluribe123@gmail.com.

Resumen

En una plantación de olivo, ubicada en el municipio de Texcoco, Estado de México, bajo la cual se siembra maíz desde hace 30 años, se evaluó la influencia de los árboles sobre los indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelo. Se establecieron dos tratamientos: sistema agroforestal (SAF) y monocultivo (MC), cada uno con tres repeticiones; se realizaron mediciones de: 1) propiedades físicas; 2) propiedades químicas; 3) propiedades biológicas; 4) escurrimiento, pérdida de suelo; y 5) producción de maíz. El sistema agroforestal presentó menores porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, favoreció mejores condiciones para el desarrollo de la actividad microbiana y la presencia de mesofauna, redujo valores de escurrimiento y pérdida de suelo, y no presentó diferencias significativas en cuanto a las propiedades químicas; evidenciando una mayor conservación del suelo. No obstante, este aparente beneficio ecológico no se vio reflejado sobre la producción de maíz, que fue de 4 670 kg ha⁻¹, en el SAF, y de 6 379 kg ha⁻¹ en el MC, probablemente por el efecto negativo de la sombra de los árboles sobre el cultivo de maíz.

Palabras clave: agroforestería, conservación de suelo, escurrimiento, fertilidad.

Abstract

In an olive plantation, located in the municipality of Texcoco, Estado de Mexico, under which corn is planted for 30 years, the influence of trees on the physical, chemical and biological indicators of soil quality was evaluated. The treatments were: agroforestry system (SAF) and monoculture (MC), each with three repetitions; measurements were performed: 1) physical properties; 2) chemical properties; 3) biological properties; 4) runoff, soil loss; and 5) corn production. The agroforestry system had lower percentages of field capacity and wilting point, favored better conditions for the development of microbial activity and the presence of mesofauna, reduced values of runoff and soil loss, and no significant differences in the chemical properties; showing greater soil conservation. However, this apparent environmental benefit was not reflected on the production of corn, which was 4 670 kg ha⁻¹, in SAF, and 6 379 kg ha⁻¹ in the MC, probably by the negative effect of shade of trees on the cultivation of corn.

Keywords: agroforestry, drainage, fertility, soil conservation.

Introducción

El suelo es uno de los recursos más importantes en la producción agropecuaria, su estado determina el tipo de actividades que se pueden realizar y los correctivos necesarios para alcanzar los niveles productivos deseados. Diversas propiedades físicas, químicas y biológicas, le confieren al suelo la calidad necesaria para albergar vida y mantener su capacidad productiva, funciones que se ven afectadas negativamente por fenómenos de degradación como la erosión y pérdida de componentes vitales como la fertilidad y la biodiversidad (UNCCD, 1996).

En lugares con niveles de degradación avanzados se ha generado una disminución de hasta 50% de la capacidad productiva de la tierra, desencadenando un riesgo importante para la seguridad alimentaria de las personas (Eswaran *et al.*, 2001). Para el caso específico de México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Colegio de Postgraduados (CP) (2003), reportan que de la superficie total afectada por procesos degenerativos (44.9%), 88% presenta pérdida de suelo causada por erosión hídrica, a la vez que 92.7% muestra una degradación química generada específicamente por la pérdida de la fertilidad.

Se sabe que la erosión hídrica se da por el impacto de gotas de lluvia, o el flujo de agua a través de la superficie del suelo, y que en este proceso se desprende, remueve y arrastra material de suelos descubiertos que contiene la materia orgánica y los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, generando a largo plazo una pérdida de la fertilidad (Unger, 1996; Singer y Munns, 1999). Fenómeno que tiene como agravante la reducción de la cobertura vegetal, que puede ser reconocida como el desencadenante de un círculo de degradación, debido al disturbio en el ciclo del agua que se genera.

De este modo en un suelo que no se encuentra protegido de lluvias erráticas e intensas, el agua no puede infiltrarse, generando un escurrimiento en la superficie que acarrea procesos erosivos durante periodos húmedos, lo que además induce una reducción del almacenamiento del agua en el suelo, eventos que con la alta evaporación que se da en terrenos sin cobertura pueden limitar la disponibilidad de agua para las plantas durante temporadas secas (UNCCD, 2009). Además de la pérdida de suelo, la falta de vegetación puede afectar propiedades biológicas, ya que poblaciones de raíces, microbios y animales son importantes para mantener

Introduction

The soil is one of the most important resources in agricultural production, its state determines the type of activities that can be performed and necessary corrections to achieve desired production levels. Various physical, chemical and biological properties, give the soil the quality necessary to sustain life and maintain their productive capacity, functions that are affected negatively by degradation phenomena such as erosion and loss of vital components such as fertility and biodiversity (UNCCD, 1996).

In places with advanced levels of degradation has generated a decrease of up to 50% of the productive capacity of the land, triggering a major risk to food safety of people (Eswaran *et al.*, 2001). For the specific case of Mexico, the Secretaría de Marina y Recursos Naturales (SEMARNAT) and the Colegio de Postgraduados (CP) (2003) report that the total area affected by degenerative processes (44.9%), 88% have loss soil erosion caused by water, while 92.7% showed a chemical degradation generated specifically for the loss of fertility.

It is known that water erosion occurs by the impact of rain drops, or the flow of water through the soil surface, and in this process appears, remove and drag material bare soils containing organic matter and the nutrients required for plant growth, generating long-term loss of fertility (Unger, 1996; Singer and Munns, 1999). Aggravating phenomenon that has reduced vegetation cover, which can be recognized as the trigger of a circle of degradation, due to the disturbance in the water cycle that is generated.

Thus in a soil that is not protected erratic and heavy rains, water cannot infiltrate, generating surface runoff that carries erosion during wet periods, which also induces a reduction of water storage in the soil, events with high evaporation that occurs in areas without coverage may limit the availability of water for plants during dry seasons (UNCCD, 2009). In addition to soil loss, lack of vegetation can affect biological properties, as populations roots, microbes and animals are important to maintaining fertility due to perform processes such as consumption and destruction of organic matter, making humus and nutrient recycling (Singer and Munns, 1999).

The agroforestry represents the art and science of growing trees in interactive combination with crops and/or animals in the same unit of land for multiple purposes (Krishnamurthy

la fertilidad debido a que llevan a cabo procesos como el consumo y destrucción de materia orgánica, fabricación de humus y reciclaje de nutrientes (Singer y Munns, 1999).

La agroforestería representa el arte y la ciencia de cultivar árboles en combinación interactiva con cultivos y/o animales en la misma unidad de tierra con propósitos múltiples (Krishnamurthy y Ávila, 1999). Lo cual favorece una serie de efectos positivos sobre el suelo y por ende los cultivos que se encuentran en el sistema, según Nair (1993), las arbóreas producen biomasa que mantiene y mejora los niveles de materia orgánica. Algunas especies son fijadoras de nitrógeno, otras protegen contra la erosión generada por el agua y el viento, reduciendo así la pérdida de nutrientes a la vez que favorecen un aumento de la fertilidad del suelo gracias a que pueden tomar nutrientes de las capas más profundas del mismo, también pueden mejorar diferentes propiedades físicas, generar un microclima favorable bajo el dosel de los árboles y propiciar un incremento en la actividad realizada por los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica presente. No obstante, también existen efectos adversos que se generan con una mala planeación agroforestal, estos incluyen competencia por agua y nutrientes e inhibición del crecimiento debido a sombra excesiva y dificultad para realizar cosechas mecanizadas de cultivos (Mahecha, 2003).

En este orden de ideas, se generan diferentes hipótesis que promueven la capacidad de la agroforestería para mantener o incrementar la fertilidad del suelo, reducir sus tasas de erosión hídrica y mejorar o mantener el rendimiento de los cultivos, lo cual hace necesaria la investigación en áreas que permitan comprobar o refutar las afirmaciones que se generan en torno a la agroforestería. Por este motivo, el presente trabajo tiene por objetivo evaluar la pérdida y propiedades físicas químicas y biológicas del suelo en un sistema agroforestal en el que se produce maíz en asociación con árboles de olivo distribuidos en callejones, al tiempo que se determina la influencia del arreglo sobre la producción del componente agrícola, en comparación con un sistema convencional de maíz en monocultivo.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento. La investigación se desarrolló en un sistema agroforestal en callejones compuesto por árboles de olivo (*Olea europaea*) y maíz, ubicado en Texcoco, Estado

and Ávila, 1999). Which promotes a number of positive effects on the soil and therefore crops that are in the system, according to Nair (1993), the trees produce biomass that maintains and improves the levels of organic matter. Some species are nitrogen fixers, others protect against erosion caused by water and wind, reducing nutrient loss while favoring an increase in soil fertility because they can take nutrients from the deeper layers of Likewise, they can also improve different physical properties, create a favorable microclimate under the canopy of trees and encourage an increase in activity by the microorganisms responsible for breaking down the organic matter. However, there are also side effects that are generated with poor agroforestry planning, these include competition for water and nutrients and growth inhibition due to excessive shade and difficulty performing mechanized harvests crops (Mahecha, 2003).

In this vein, different scenarios that promote the ability of agroforestry to maintain or increase soil fertility are generated, reducing their rates of water erosion and improve or maintain crop yields, which necessitates research in areas needed to verify or refute the claims that are generated around agroforestry. Therefore, this study aims to assess the loss and properties physical chemical and biological soil in an agroforestry system where corn is produced in association with olive trees distributed in alleys, while the influence of the arrangement is determined on production of the agricultural component, compared to a conventional system in monoculture corn.

Materials and methods

Location of the experiment. The research was conducted in an agroforestry system in alleys composed of olive trees (*Olea europaea*) and corn, located in Texcoco, Estado de Mexico, 19° 28' 15.17" north latitude and 98° 52' 26.02" west longitude. The town lies at an altitude of 2 265 m, has an average temperature of 15.9 °C, an annual rainfall of 650 mm and a climate that is characterized by semi-dry temperate (Moreno, 2007). It was selected an area of 6 hectares in which they have olive trees with an age of 60 years (who no longer produce olive), under which native maize is grown as the main crop, which is sometimes broken with beans and oats agroforestry system mode; the site also features an area characterized by the total absence of trees, which also corn is planted as monocultures, land entirely receives the same

de México, a 19° 28' 15.17" latitud norte y 98° 52' 26.02" longitud oeste. El municipio se encuentra a una altura de 2 265 m, cuenta con una temperatura media de 15.9 °C, una precipitación media anual de 650 mm y un clima que se caracteriza por ser templado semi-seco (Moreno, 2007). Fue seleccionado un predio de 6 hectáreas en el que se tienen árboles de olivo con una edad de 60 años (que ya no producen aceituna), bajo los cuales se siembra maíz criollo como cultivo principal, que en ocasiones se rota con frijol y avena a modo de sistema agroforestal; el predio también cuenta con una zona caracterizada por la ausencia total de árboles, en la que igualmente se siembra maíz en forma de monocultivo, el terreno en su totalidad recibe las mismas labores de manejo y los mismos tratamientos de fertilización, situación ideal para establecer el experimento y evaluar el efecto de los árboles sobre la producción de maíz, ya que sus rendimientos gracias a la homogeneidad del lugar y la cercanía de las zonas con y sin árboles, presenta condiciones similares que permiten inferir que las posibles diferencias en producción sean efecto de la presencia o no, de los árboles.

El sistema agroforestal se caracteriza por filas de árboles sembradas a una distancia de 8 x 8 m que dejan un callejón en el cual se instalan 7 surcos de maíz, sembrado a 80 cm, en dirección norte sur.

Como se mencionó anteriormente, todo el predio se manejó bajo las mismas labores agrícolas, las cuales constaron de una fertilización manual a razón de 92 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 46 kg ha⁻¹. Así como, labores mecanizadas de labranza.

Diseño experimental. Se establecieron dos tratamientos: sistema agroforestal (SAF) y monocultivo (MC). Como condiciones para la selección del lugar de instalación del tratamiento, se tuvo en cuenta que ambos fueran similares en cuanto a pendiente (2%) y profundidad efectiva (30 cm); en el caso del tratamiento con árboles, se consideró una distribución homogénea de los mismos, y para el monocultivo fue tomada en cuenta una distancia adecuada de los árboles para evitar un efecto de borde y la posible influencia de los mismos.

En cada tratamiento se ubicaron tres repeticiones compuestas por parcelas útiles de 16 m², en las cuales se midieron diferentes variables para evaluar la influencia del sistema agroforestal sobre la fertilidad (propiedades físicas, químicas y biológicas), pérdida de suelo y producción de maíz. Adicionalmente se realizaron mediciones diarias de la precipitación y temperatura ambiente, bajo los árboles y en monocultivo.

management tasks and the same fertilization treatments, ideal situation to establish the experiment and evaluate the effect of trees on maize production, as their yields thanks to the homogeneity of the place and the proximity of the areas without trees, presents similar conditions that allow us to infer that possible differences in production are effect the presence or not of trees.

The agroforestry system is characterized by rows of trees planted at a distance of 8 x 8 m leaving an alley in which seven rows of corn planted at 80 cm, in north-south direction are installed.

As mentioned above, the entire property was managed under the same agricultural work, which consisted of a manual fertilization at a rate of 92 kg ha⁻¹ of nitrogen and 46 kg ha⁻¹. And mechanized farm work.

Experimental design. Two treatments were established: the agroforestry system (SAF) and monoculture (MC). As conditions for the selection of the installation site of treatment, it was taken into account that both were similar in slope (2%) and effective depth (30 cm); in the case of treatment with trees, a homogeneous distribution of them was considered, and the monoculture was taken into account a suitable distance from the trees to avoid an edge effect and the possible influence there of.

In each treatment comprised three replicates useful plots of 16 m², in which different variables were measured to evaluate the influence of agroforestry system on fertility (physical, chemical and biological), loss of soil and corn production were located. Additionally daily measurements of precipitation and temperature, under trees and in monoculture were made.

Soil physical properties. They were made determinations of different physical properties of the soil, with the aim of characterizing the system; these were carried out in the laboratory of soil physics of Universidad Autónoma Chapingo (UACH), under the standards and methodologies of the Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). Finally, soil temperature records were obtained throughout the duration of the investigation. Additionally, a determination of the volumetric soil moisture was performed by using reflectometry time domains (TDR), specifically with the use of a TDR 300, in order to establish the ability of water conservation in each treatment according the behavior of precipitation.

Propiedades físicas del suelo. Fueron realizadas las determinaciones de diferentes propiedades físicas del suelo, con el objetivo de caracterizar el sistema; estas fueron llevadas a cabo en el laboratorio de física de suelos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), bajo los estándares y metodologías de la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000). Por último, los registros de temperatura del suelo fueron obtenidos durante todo el tiempo de duración de la investigación. Adicionalmente, se realizó una determinación de la humedad volumétrica del suelo mediante el uso de reflectometría de dominios de tiempo (TDR), específicamente con el uso de un TDR 300, con el fin de establecer la capacidad de conservación de agua en cada tratamiento, conforme al comportamiento de la precipitación.

Propiedades químicas. Se realizó una medición de los parámetros químicos del suelo para caracterizar el sistema y establecer las condiciones nutrimentales disponibles para las plantas. Las determinaciones fueron realizadas en el laboratorio central de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo las metodologías establecidas por la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Propiedades biológicas. El muestreo para la determinación de los indicadores biológicos fue realizado en tres ocasiones, con el objetivo de evaluar su comportamiento durante el periodo productivo del maíz. Para la presente investigación fueron elegidos, como parámetros a evaluar, la actividad microbiana y la mesofauna. La actividad microbiana se determinó mediante la técnica de respiración de suelo, propuesta por Anderson (1982), en la cual se mide la liberación de CO₂ (expresada en mg CO₂ kg⁻¹ de suelo) proveniente de la descomposición de la materia orgánica de los microorganismos presentes en el sistema.

La mesofauna se determinó mediante el método de Berlese modificado por Tullgren Karyanto *et al.* (2012) en el cual un foco de 60 W calienta 500 g de suelo tamizado por una maya de 2 mm (tamaño máximo de la mesofauna) que se disponen en un embudo, provocando que los individuos presentes desciendan hacia la punta del mismo, buscando zonas más frescas, para luego caer en un frasco con alcohol etílico al 70%. Los individuos obtenidos fueron cuantificados y clasificados, estableciendo así el número y tipo de organismos presentes por metro cuadrado.

Escurrimiento y pérdida de suelo. Para corroborar el escurrimiento y la pérdida de suelo fueron establecidas parcelas de 16 m² (área útil de cada repetición) que captaban

Chemical properties. Measurement of chemical soil parameters was performed to characterize the system and establish the nutritional conditions available to plants. The determinations were performed in the central laboratory of the Universidad Autónoma Chapingo, under the procedures established by the Mexican Official Standard NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Biological properties. The sampling for the determination of biological indicators was performed three times in order to evaluate their behavior during the production period of maize. For this investigation were chosen as parameters to evaluate the microbial activity and mesofauna. The microbial activity was determined by the technique of soil respiration proposed by Anderson (1982), in which the release of CO₂ (expressed as mg CO₂ kg⁻¹ of soil) from the decomposition of the organic matter is measured microorganisms present in the system.

The mesofauna was determined by the method Berlese modified Tullgren Karyanto *et al.* (2012) in which a bulb 60 W heated 500 g of sieved soil by a maya 2 mm (maximum size mesofauna) which are arranged in a funnel, causing the individuals present descend toward the tip thereof, looking cooler areas, then fell into a jar with 70% ethyl alcohol. Individuals obtained were quantified and classified, thus establishing the number and type of organisms per square meter.

Runoff and soil loss. To corroborate runoff and soil loss were established plots of 16 m² (useful area of each repetition) that captured runoff water in tubs of 144 cubic liters; in turn, the plots had an edge of 15 cm high, covered with plastic, to delimit and maintain within the collected water. Daily (from June 30 to September 5 the agricultural cycle spring-summer 2014), was revised to record the rain gauge precipitation and with each rain event the presence or absence of drained water collected in tubs observed. When precipitation caused runoff water collected sheet was recorded and a sample of 110 ml was taken to quantify soil loss by water erosion.

Development and production of maize. To determine the influence of the presence of trees on development and production of corn plants, it was recorded weekly up to 20 plants selected at random within each useful plot from the fifth week of age, until presented in 100% flowering plants of each treatment. Subsequently, the total production of plants present in each useful plot (16 m²) was quantified. The ears

el agua de escorrentía en tinas cúbicas de 144 litros de capacidad; a su vez, las parcelas contaban con un borde de 15 cm de alto, cubierto con plástico, para delimitarlas y mantener dentro el agua captada. Diariamente (del 30 de junio al 5 de septiembre del ciclo agrícola primavera - verano 2014), fue revisado el pluviómetro para registrar la precipitación y con cada evento pluvial se observaba la presencia o no de agua escurrida captada en las tinas. Cuando la precipitación causaba escurrimiento, se registraba la lámina de agua captada y se tomaba una muestra de 110 ml para cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Desarrollo y producción del maíz. Para determinar la influencia de la presencia de los árboles sobre el desarrollo y producción de las plantas de maíz, se registró semanalmente la altura de 20 plantas, seleccionadas al azar dentro de cada parcela útil a partir de la quinta semana de edad, hasta que se presentó la floración en 100% de las plantas de cada tratamiento. Posteriormente, se cuantificó la producción del total de plantas presentes en cada parcela útil (16 m²). Las mazorcas recolectadas fueron desgranadas y secadas a la intemperie, para después pesar la producción de grano de cada repetición, la cual fue extrapolada a kg de grano ha⁻¹.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron analizados con el software estadístico SAS 9.1 mediante análisis de varianza de un factor (Anova) y pruebas de Tukey para determinar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Adicionalmente, con el uso del mismo software, se realizaron pruebas de correlación entre la precipitación y el escurrimiento, precipitación y pérdida de suelo y escurrimiento y pérdida de suelo, para los dos tratamientos.

Resultados y discusión

Propiedades físicas. A pesar de la cercanía de los dos tratamientos y de la aparente homogeneidad del terreno y condiciones edáficas que a través de los resultados evidenciaron similitudes en cuanto a la densidad real y aparente, la presencia de árboles ha incidido significativamente ($p < 0.05$) en características estructurales, en determinaciones como CC, PMP, conductividad hidráulica y humedad aprovechable (Cuadro 1), las cuales fueron definitivas al momento de hacer una valoración de la calidad de los suelos, ya que modificaron el comportamiento de agua en el sistema y su disponibilidad para las plantas.

were threshed harvested and dried in the open, then grain production despite each repetition, which was extrapolated grain kg ha⁻¹.

Statistical analysis. The data obtained were analyzed with SAS 9.1 statistical software using analysis of variance (ANOVA) and Tukey tests to determine significant differences ($p < 0.05$) between treatments. Additionally, using the same software, testing correlation between precipitation and runoff, precipitation and soil loss and runoff and soil loss, for the two treatments were performed.

Results and discussion

Physical properties. Despite the closeness of the two treatments and the apparent homogeneity of the terrain and soil conditions through the results showed similarities in terms of real and apparent density, the presence of trees has significantly affected ($p < 0.05$) features structural determinations as CC, PMP, hydraulic conductivity and soil moisture (Table 1), which were definitive when making an assessment of the quality of the soil, as they modified the behavior of water in the system and its availability for the plants.

Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo perteneciente al sistema agroforestal (SAF) y monocultivo (MC) a 20 cm de profundidad.

Table 1. Soil physical properties belonging to agroforestry system (SAF) and monoculture (MC) to 20 cm deep.

Parámetro	SAF	MC
Textura	Arenosa francosa	Franco arenosa
Capacidad de campo (%)	15.00 b ^z	20.6 a
Punto de marchitez permanente (%)	7.76 b	9.88 a
Conductividad hidráulica (cm h ⁻¹)	1.44 a	0.51 b
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.41 a	1.4 a
Densidad real (g cm ⁻³)	2.6 a	2.63 a
Humedad aprovechable (%)	7.24 b	10.75 a

^z valores sobre cada renglón con diferentes letras son diferentes ($p < 0.05$) mediante la prueba de Tukey.

A greater contribution of organic matter to the soil can influence improvement of structural conditions (Nair, 1993). However, observing the results of chemical analysis, no

Un mayor aporte de materia orgánica al suelo puede influir en un mejoramiento de sus condiciones estructurales (Nair, 1993). No obstante, al observar los resultados del análisis químico no se encontraron diferencias importantes en los contenidos de este parámetro en los dos tratamientos, lo cual se confirma al estudiar los registros de densidad real y aparente, que son similares tanto en el SAF como en el MC. Al analizar los mayores registros de capacidad de campo y punto de marchitez permanente se observó, mediante un gráfico de retención de humedad (Figura 1), que el sistema agroforestal presentó una menor fuerza de retención de agua respecto al monocultivo a medida que se aumentó la presión, lo cual coincide con la mayor velocidad de infiltración que posee el suelo bajo la presencia de árboles, situación que puede ser favorable para prevenir el escurrimiento ante la presencia de lluvias intensas, pero que resultaría en un riesgo para el sostenimiento de la producción vegetal si la precipitación fuera escasa.

Según de la Rosa (2008), suelos con similar densidad real y aparente presentan valores cercanos de porosidad, no obstante, la distribución de macro y micro poros puede variar para cada uno, en donde aquel con una mayor proporción de espacios de gran tamaño incide en una mayor velocidad de infiltración y en una menor capacidad de retención de agua. En el presente estudio se observó que el suelo bajo la influencia de árboles de olivo cuenta con una presencia significativamente mayor de macroporos en relación al monocultivo, situación que explica la menor capacidad de retención de agua del sistema agroforestal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Relación de macro y micro poros en el suelo bajo los tratamientos SAF y MC.

Table 2. List of macro and micro pores in the soil under the treatments SAF and MC.

Tratamiento	Porosidad (%)	Macroporosidad (%)	Microporosidad (%)
SAF	45.5 a ^z	53.04 a	46.95 b
MC	46.88 a	38.15 b	61.84 a

^zvalores sobre cada columna con diferentes letras son diferentes ($p < 0.05$) mediante la prueba de Tukey.

La porosidad del suelo puede ser mantenida, mediante el aumento de la cobertura vegetal, la cual protege al sistema de la disrupción, que causa el impacto de las gotas de la lluvia, mediante la anulación o disminución de su capacidad para desintegrar los agregados del suelo y separar las partículas finas, generando así, una escasa o nula obstrucción de poros en la superficie del suelo (Shaxson y Barber, 2005). De igual manera estos autores también reportan que las raíces de los árboles o cultivos de cobertura actúan como subsoladores biológicos que penetran los diferentes horizontes,

significant differences were found in the contents of this parameter in the two treatments, which is confirmed by studying the records of real and apparent density, which are similar in both the SAF and the MC. When analyzing the biggest records of field capacity and wilting point was observed by a graph of moisture retention (Figure 1), the agroforestry system had a lower retention force of water relative to monoculture as it increased pressure, which coincides with the increased infiltration rate which owns the ground under the presence of trees, a situation that may be favorable to prevent runoff in the presence of heavy rains, but would result in a risk for sustaining crop production if the precipitation was scarce.

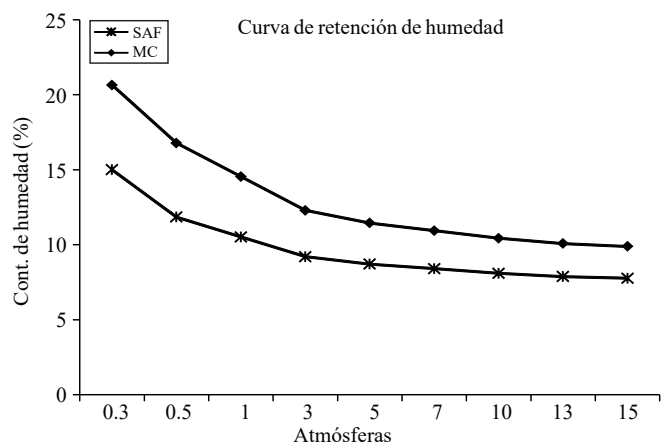


Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo bajo los tratamientos SAF y MC.

Figure 1. Curve soil moisture retention under the treatments SAF and MC.

According to de la Rosa (2008), soils with a similar real and apparent density present near porosity values, however, the distribution of macro and micro pores may vary for each, where one with a higher proportion of large spaces incident in increased infiltration rate and a lower water holding capacity. In the present study found that the soil under the influence of olive trees has a significantly greater presence of macropores in relation to monoculture, a situation which explains the lower water holding capacity of agroforestry system (Table 2).

generando) canales más estables que los formados por medios mecánicos, ya que las raíces liberan sustancias orgánicas que estabilizan la superficie de los mismos. Una vez que las raíces han muerto y se han contraído, dichos poros serán lo suficientemente grandes y estables como para facilitar la infiltración del agua.

Melloni *et al.* (2008) registraron en un estudio realizado en Minas Gerais, Brasil, un valor de densidad aparente en un suelo cubierto por un Bosque típico de la Mata Atlántica brasilera de 0.94 kg dm^{-3} , el cual fue menor que los registrados por una plantación de *A. angustifolia*, una plantación de *Eucalyptus grandis* y una pastura en monocultivo de *Brachiaria decumbens*, que presentaron valores de 1.25, 1.06 y 1.36 kg dm^{-3} , respectivamente. Adicionalmente, la Mata atlántica obtuvo un porcentaje de macroporosidad del 34.31%, el cual fue significativamente mayor al obtenido por el tratamiento sin árboles (*B. decumbens*) que registró un valor de 13.53%.

Los registros más altos de temperatura ambiente y temperatura del suelo para el monocultivo fueron 35 y 28°C respectivamente, mientras que el sistema agroforestal presentó temperaturas ambientales y edáficas máximas de 33 y 28°C , lo que permite inferir que la sombra generada por las leñosas perennes incidió directamente sobre el calentamiento del suelo a 20 cm de profundidad. Durante un mes fue evaluada la humedad volumétrica del mismo en los dos tratamientos, determinación que permitió observar una menor pérdida de agua en el SAF, condicionada principalmente por la menor temperatura ambiental y edáfica presente en este tratamiento (Figura 2), en esta se puede notar que ante una recarga del sistema mediada por la precipitación, el contenido de humedad en el SAF y MC fue similar, no obstante, cuando la precipitación disminuyó, la sombra generada por los árboles, evitó que el agua del suelo se perdiera con mayor velocidad en relación al monocultivo, favoreciendo así, una mayor conservación y disponibilidad de la misma para las plantas.

Estos datos coinciden con los obtenidos por Matoso *et al.* (2007) quienes encontraron en un cultivo de café a la sombra de diversos árboles maderables, un contenido de humedad que se mantuvo entre de 0.5 a 2% superior, en relación al café en monocultivo, a una profundidad de $20\text{-}40 \text{ cm}$.

Propiedades químicas. Tanto el SAF como el MC presentaron contenidos similares (sin diferencia estadística) en el total de parámetros evaluados (Cuadro 3), destaca que a pesar de la presencia de árboles el porcentaje de materia orgánica fue similar en los dos tratamientos, lo cual indica que los olivos

The soil porosity can be maintained by increasing vegetation cover, which protects the system from disruption, which causes the impact of drops of rain, by canceling or decrease its ability to break soil aggregates and separating the fine particles, thus generating little or no blockage of pores in the soil surface (Shaxson and Barber, 2005). Similarly these authors also report that the roots of the trees or cover crops act as biological subsoilers that penetrate different horizons, generating) more stable than those formed by mechanically channels, since the roots extrudate organic substances which stabilize the surface thereof. Once the roots have died and have shrunk, they said pores are large and stable enough to facilitate water infiltration.

Melloni *et al.* (2008) reported in a study conducted in Minas Gerais, Brazil, a value of bulk density on a floor covered by a typical forest of the Atlantic Forest Brazilian 0.94 kg dm^{-3} , which was lower than those recorded by a plantation of *A. angustifolia*, a plantation of *Eucalyptus grandis* and pasture in monoculture of *Brachiaria decumbens*, with values of 1.25, 1.06 and 1.36 kg dm^{-3} respectively. In addition, the Atlantic Mata scored a percentage of macroporosity of 34.31%, which was significantly higher than that obtained by treating treeless (*B. decumbens*) which recorded a value of 13.53%.

The higher records room temperature and soil temperature for monoculture were 35 and 28°C respectively, while the agroforestry system introduced ambient temperatures and maximum soil of 33 and 28°C , which allows us to infer that the shadow generated by the woody perennial he had a direct impact on soil heating to 20 cm deep. For a month was assessed volumetric moisture same in both treatments determination that allowed us to observe a lower loss of water in the SAF, mainly conditioned by the lower ambient temperature and soil present in this treatment (Figure 2), this can note that with a system reload mediated precipitation, the moisture content in the SAF and MC was similar, however, when precipitation decreased, the shadow generated by the trees prevented soil water is lost more rapidly in relation to monoculture thus favoring greater conservation and availability thereof to plants.

These data are consistent with those obtained by Matoso *et al.* (2007) who found in a growing coffee in the shade of various timber, moisture content was maintained between 0.5 to 2% higher, in relation to coffee monoculture, at a depth of $20\text{-}40 \text{ cm}$.

no aportan la suficiente biomasa, como para incrementar su contenido en el suelo, por ende los nutrientes incluidos en la evaluación no evidenciaron diferencias significativas.

En diferentes sistemas agroforestales evaluados, la presencia de árboles no ha sido causante de una mayor concentración de nutrientes en el suelo, ejemplo de esto lo otorgan Ávila *et al.* (2004), quienes en un sistema agroforestal de *Eucalyptus deglupta* asociado con café, en Costa Rica, evidenciaron un menor contenido de nitratos ($68 \text{ kgNO}_3 \text{ ha}^{-1}$) en comparación con un cafetal en monocultivo ($115 \text{ kgNO}_3 \text{ ha}^{-1}$) indicando que los árboles reducen la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo de café; en otro estudio Barreto *et al.* (2006) encontraron mayores contenidos de potasio en una pastura en monocultivo (0.2 cmol dm^{-3}), en comparación con un SAF de cacao asociado con árboles maderables ($0.12 \text{ cmol dm}^{-3}$); por último en un estudio realizado por Bertalot *et al.* (2014) no se encontraron diferencias significativas en la fertilidad de un SAF compuesto por árboles de *Leucaena diversifolia* y maíz en comparación con un monocultivo de maíz, en este estudio el análisis nutrimental determinó lo siguiente: un pH idéntico en los tratamientos (5.2); materia orgánica de 17 y 16% para el SAF y MC respectivamente; contenido de fósforo de 17 y 14 mg dm^{-3} en el mismo orden y por último, una concentración de potasio similar en los dos tratamientos SAF ($0.4 \text{ mmolc dm}^{-3}$) y MC ($0.3 \text{ mmolc dm}^{-3}$).

Cuadro 3. Propiedades químicas del suelo perteneciente al sistema agroforestal (SAF) y monocultivo (MC) a 20 cm de profundidad.

Table 3. Soil chemical properties belonging to agroforestry system (SAF) and monoculture (MC) to 20 cm deep.

Parámetro	Tratamiento		Parámetro	Tratamiento	
	SAF	MC		SAF	MC
pH	7.33 a ²	7.62 a	Cu (mg kg^{-1})	1.40 a	1.54 a
Materia Orgánica (%)	1.25 a	1.20 a	Fe (mg kg^{-1})	10.99 a	16.31 a
Fósforo (mg kg^{-1})	18.67 a	20.96 a	Zn (mg kg^{-1})	1.4 a	2.0 a
Potasio (mg kg^{-1})	567.3 a	416.0 a	Mn (mg kg^{-1})	5.4 b	7.74 a
Amonio (mg kg^{-1})	8.20 a	9.10 a	B (mg kg^{-1})	0.90 a	1.24 a
Nitratos (mg kg^{-1})	11.30 a	8.33 a			
Nitrógeno total	0.070 a	0.066 a			
CIC ($\text{Cmol}_{(+)}\text{Kg}^{-1}$)	13.56 a	14.16 a			

²valores sobre cada renglón con diferentes letras son diferentes ($p < 0.05$) mediante la prueba de Tukey.

Propiedades biológicas

Se observó una tendencia hacia una mayor actividad microbiana expresada en mg kg de CO_2 , en el sistema agroforestal; sin embargo, no se presentó una diferencia significativa entre tratamientos para los primeros dos muestreos (Figura 3).

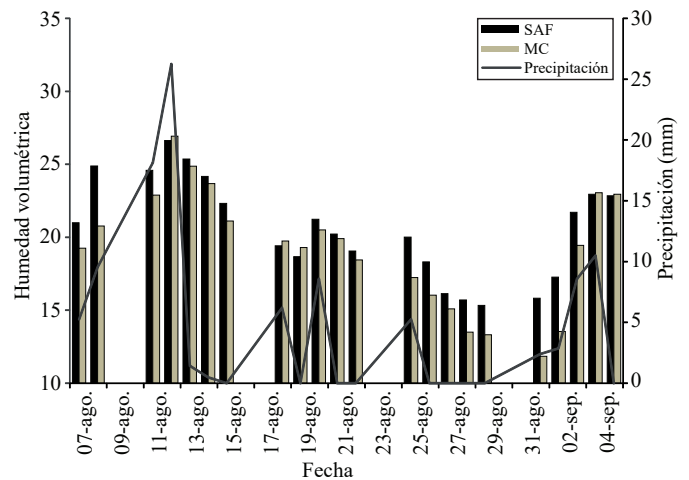


Figura 2. Humedad volumétrica del suelo registrada para los tratamientos SAF y MC en relación a la precipitación.

Figure 2. Soil moisture volumetric registered for treatments SAF and MC in relation to precipitation.

Chemical properties. Both the SAF as the MC had similar content (no statistical difference) in total parameters evaluated (Table 3), points out that despite the presence of trees the percentage of organic matter was similar in both treatments, indicating that olive trees do not provide enough biomass to increase its content in the soil, hence the nutrients included in the assessment showed no significant differences.

Evaluated in different agroforestry systems, the presence of trees has not been causing a higher concentration of nutrients in the soil, give example of this Ávila *et al.* (2004), who in an agroforestry system *Eucalyptus deglupta* associated with coffee in Costa Rica, showed a lower content of nitrates ($68 \text{ kgNO}_3 \text{ ha}^{-1}$) compared to a coffee plantation

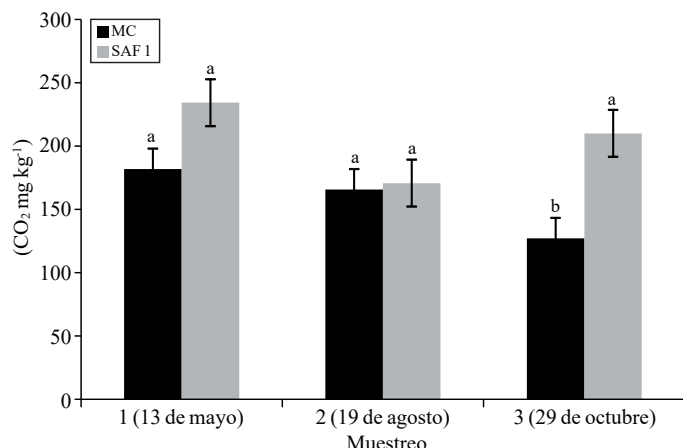


Figura 3. Actividad microbiana registrada en los tratamientos SAF y MC. Letras diferentes representan diferencias significativas ($p < 0.05$) mediante la prueba de Tukey.

Figure 3. Microbial activity registered in the treatments SAF and MC. Different letters represent significant differences ($p < 0.05$) by Tukey test.

La presencia de individuos fue alta en el primer muestreo, cuando aún no daba inicio la temporada de lluvias, en este caso, la población estaba representada en su mayoría por ácaros, que abundaron tanto en el MC como en el SAF, y colémbolos que tuvieron una presencia significativamente mayor en el SAF; para el segundo muestreo, la presencia de individuos por m² descendió drásticamente, pasando de cerca de 16 000 ácaros m⁻² en el MC a 4 682 ácaros m⁻², en el mismo tratamiento, situación que probablemente se dio por el elevado porcentaje de agua en el suelo y las bajas temperaturas del mismo, que obligan a los individuos a buscar zonas más cálidas, motivo por el cual, la presencia de estos organismos fue mayor en el MC ya que sin la influencia de la sombra de los árboles la temperatura del suelo era de 0.5 - 1.5 °C mayor que en el SAF. Para el tercer muestreo, las condiciones edáficas en cuanto a temperatura y humedad, permitieron la presencia de una mayor cantidad de individuos m², salvo que en esta ocasión se caracterizó por una mayor presencia de colémbolos y ácaros en el SAF.

Pérdida de suelo y escurrimiento. La evaluación se realizó del 29 de junio al 4 septiembre, periodo que presentó 35 eventos pluviales, de los cuales 15 (42%) causaron escurrimiento y de estos, 100% fueron erosivos, la precipitación mínima que causó un flujo de agua superficial con arrastre de partículas fue de 7.63 mm, y la máxima precipitación registrada dentro del análisis fue de 26.24 mm, aunque en dos ocasiones se presentaron eventos con una mayor intensidad que causaron escurrimiento, no obstante la magnitud de los mismos rebasó la capacidad de las tinas de agua, por lo que fue imposible realizar una medición de la lámina presente, lo que llevó a que dichas

monoculture (115 kgNO₃ ha⁻¹) indicating that the trees reduce the availability of nitrogen for growing coffee; in another study Barreto *et al.* (2006) found higher content of potassium in a pasture in monoculture (0.20 cmol dm⁻³), compared with cocoa SAF associated with timber (0.12 cmol dm⁻³); finally, in a study by Bertalot *et al.* (2014), no significant differences were found in the fertility of a SAF composed of trees *Leucaena diversifolia* and corn compared to a monoculture of corn, in this study the nutritional analysis determined the following: an identical pH treatments (5.2); organic matter 17 and 16% for the SAF and MC respectively; phosphorus content of 17 and 14 mg dm⁻³ in the same order and finally a potassium concentration similar in the two treatments SAF (0.4 mmolc dm⁻³) and MC (0.3 mmolc dm⁻³).

Biological properties

A trend toward greater was observed in microbial activity expressed in mg kg of CO₂ in the agroforestry system, however, it did not show a significant difference between treatments for the first two samples (Figure 3).

The presence of individuals was high in the first sample, while still not giving start the rainy season, in this case, the population was represented mostly by mites, which abounded in both the MC and the SAF, and springtails who had a significantly greater presence in the SAF; for the second sampling, the presence of individuals per m² fell sharply, from around 16 000 mites m⁻² on MC to 4 682 mites m⁻², on the same treatment, a situation that probably gave the high percentage of water in the soil and low temperatures thereof, that force individuals to seek warmer areas, why the presence of these organisms was higher in the MC because without the influence of the shade of the trees the soil temperature was 0.5 - 1.5 °C higher than in the SAF. For the third sampling, soil conditions in terms of temperature and humidity, allowed the presence of a greater number of individual's m², except that this time was characterized by a greater presence of springtails and mites in the SAF.

Soil loss and runoff. The evaluation was conducted from 29 June to 4 September period presented 35 storm events, of which 15 (42%) caused runoff and of these, 100% were erosive, minimal rainfall that caused a flow of surface water particle entrainment was 7.63 mm, and the maximum precipitation recorded in the analysis was 26.24 mm, although twice events with a higher intensity that caused runoff occurred, however the magnitude of these exceeded the capacity of vats water, so it was impossible to perform a

precipitaciones no se tomaran en cuenta dentro del estudio, por lo tanto el número de eventos pluviales analizados bajó de 15 a 13. En términos generales, el sistema agroforestal, gracias a la protección que otorgan los árboles incidió en menores tasas de escurrimiento y pérdida de suelo a lo largo del estudio, en comparación con las observadas en el monocultivo las cuales fueron estadísticamente mayores (Cuadro 4).

measurement of the sheet present, which led to such rainfall was not taken into account in the study, so the number of storm events analyzed dropped from 15 to 13. overall, agroforestry system, thanks to the protection provided by the trees had an impact on lower rates of runoff and soil loss throughout the study, compared with those observed in which were statistically higher monoculture (Table 4).

Cuadro 4. Escurrimiento y pérdida de suelo en el SAF y MC, durante el tiempo de duración de estudio.
Table 4. Runoff and soil loss in the SAF and MC during the duration of study.

Tratamiento	Escurrimiento (m ³ ha ⁻¹)	Pérdida de suelo (kg ha ⁻¹)
Sistema agroforestal (SAF)	252.90 b ^z	1079.3 b
Monocultivo (MC)	331.58 a	1594.3 a

^zvalores sobre cada columna con diferentes letras son diferentes ($p < 0.05$) mediante la prueba de Tukey.

Pinese *et al.* (2008) evaluaron la erosión laminar en un suelo bajo diferentes coberturas vegetales en Minas Gerais, Brasil, sometidos a una precipitación de 457.5 mm, en donde evidenciaron una escurrimiento de 19.5 L m⁻² en un monocultivo de maíz, el cual fue mayor al observado por un bosque nativo, el cual presentó 0.5 L m⁻², relación que se mantuvo en cuanto a la pérdida de suelo la cual fue mayor en el cultivo de maíz respecto al bosque nativo (144.3 y 0.08 g m⁻²); Resultados que permiten inferir que ante una mayor cobertura vegetal, el escurrimiento así como la magnitud del proceso erosivo se presentan en menor cuantía.

Pinese *et al.* (2008) evaluated laminar in soil under different mulches in Minas Gerais, Brazil, subject to rainfall of 457.5 mm, where they showed a runoff of 19.5 L m⁻² in a monoculture of corn erosion, which was higher to that observed by a native forest, which presented 0.5 L m⁻², relationship remained as to the loss of soil which was higher in the corn crop compared to native forest (144.3 and 0.08 g m⁻²); Results allow us to infer that with greater vegetation cover, runoff and the magnitude of the erosion process are presented in smaller amounts.

Desarrollo y producción de maíz. Contrario a lo esperado, tanto la producción como el desarrollo del maíz fueron inferiores en el sistema agroforestal, en el cual las plantas presentaron un crecimiento más lento y manifestaron una menor altura en relación con las presentes en el monocultivo, situación que radica en el hecho de que los árboles de olivo generaban una sombra intensa y constante sobre el cultivo, lo que dificultó en gran medida su desarrollo. En general, el componente agrícola del SAF presentó distintas limitantes para manifestar su capacidad productiva; en primer lugar, a pesar de que la siembra de los dos tratamientos se efectuó el mismo día, las semillas bajo los árboles, en promedio, tardaron más en germinar, posteriormente su crecimiento se dio a una menor velocidad; el exceso de humedad del suelo, generó síntomas de amarillamiento por deficiencia de oxígeno y las plantas al ser más débiles que las del monocultivo se acamaron en distintas ocasiones. Las diferencias en cuanto a crecimiento y desarrollo observadas en la figura anterior, se confirman mediante las determinaciones de altura que se realizaron semanalmente; a partir de la quinta semana de edad del cultivo (Figura 4), en esta se puede observar que desde la primera medición, hasta

Development and production of corn. Contrary to expectations, both production and development of corn were lower in the agroforestry system, in which the plants showed slower growth and expressed a lower height relative to those present in monoculture situation lies in the fact that olive trees generated an intense and constant shadow on the crop, which greatly hampered its development. In general, the agricultural component of the SAF presented various limitations to express their productive capacity; first, even though the planting of the two treatments was made the same day, the seeds under the trees, on average, took longer to germinate, then its growth was at a slower rate; excess soil moisture, yellowing symptoms generated by oxygen deficiency and plants to be weaker than monoculture were blight at different times. The differences in growth and development observed in the figure above, are confirmed by height determinations were made weekly; from the fifth week of culture age (Figure 4), this one can see that from the first measurement to flowering 100% crop plants grown in full sunlight presented a greater height than those located at the shade of olive trees.

la floración de 100% del cultivo las plantas sembradas a plena exposición solar presentaron una mayor altura, que las ubicadas a la sombra de los árboles de olivo.

Al ser una planta de tipo C_4 , la radiación solar es un parámetro vital para el desarrollo y producción del cultivo de maíz, y que una reducción en la radiación fotosintéticamente activa del 30 - 40%, por periodos prolongados puede atrasar la maduración de los granos, retrasar el crecimiento y ocasionar caídas en la producción (Cruz *et al.*, 2006). Por este motivo, los sistemas agroforestales tienen que ser establecidos en un dirección este - oeste, y de esta forma permitir una entrada de luz sobre el componente agrícola que garantice el desarrollo óptimo de la fotosíntesis (Nair, 1993).

Conclusiones

La asociación del cultivo de maíz con árboles de olivo, favoreció un mejoramiento de características que en conjunto contribuyen a la conservación del recurso, manifestando así, un beneficio ambiental producto de la práctica agroforestal, que se hace notable al reducir la cantidad de suelo que se pierde, a causa de la erosión hídrica. No obstante, las ventajas ambientales se ven opacadas al contrastarlas con los rendimientos productivos del maíz, que fueron mayores en el monocultivo. Por este motivo es necesario generar tecnologías que expresen en la producción del cultivo asociado, el potencial de la agroforestería.

Literatura citada

- Anderson, J. P. E. 1982. Soil respiration. *In*: Miller, A. L. and Keeney, R. H. Methods of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. 837-871 pp.
- Ávila, H.; Harmand, J. H.; Dambrine, E.; Jiménez, F.; Beer, J. e Oliver, R. Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deflupta* en la zona sur de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 41(42):83-91.
- Barreto, C. A.; Soriano, F. H.; Galvão dos Santos, M. B.; Reis de Araujo, Q. e Freire, F. J. 2006. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. 19(4):415-425.
- Betalot, M. J. A.; Guerrini, I. A.; Mendoza, E. and Pinto, M. S. V. 2014. Productivity, leaf nutrient content and soil carbon stocked in agroforestry and traditional management of maize (*Zea mays* L.). *Am. J. Plant Sci.* 5:884-898.

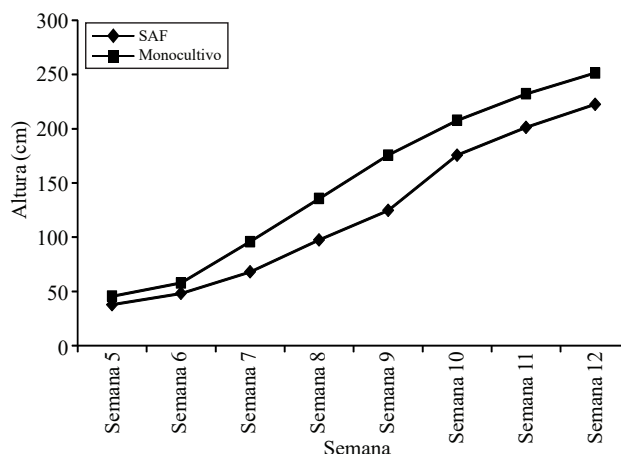


Figura 4. Altura de las plantas de maíz a través del desarrollo del cultivo en los tratamientos SAF y MC.

Figure 4. Height of corn plants through crop development in the treatments SAF and MC.

Being a plant C_4 type, solar radiation is vital for the development and production of maize parameter, and that a reduction in the photosynthetically active radiation of 30-40% for long periods may delay the ripening of the grains, slow growth and cause a fall in production (Cruz *et al.*, 2006). For this reason, agroforestry systems have to be set in this direction east-west and thus allow entry of light on the agricultural component ensuring optimal development of photosynthesis (Nair, 1993).

Conclusions

The association of maize with olive trees, favored an improvement of features that together contribute to the conservation of the resource, thus manifesting, an environmental benefit product of agroforestry practice, which is made noticeable by reducing the amount of soil that lost due to water erosion. However, the environmental benefits are overshadowed by contrasting them with productive maize yields, which were higher in monoculture. For this reason it is necessary to generate technologies that express production in intercropping, the potential of agroforestry.

End of the English version



- Cruz, J. C.; Pereira, I. A.; Costa, R.; Gontijo, M. M.; Herbert, J.; Fernández M. e Santana, D. P. 2006. Manejo da cultura do Milho. EMBRAPA. Sete Lagoas, MG. 12 p.
- De la Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo sostenible. Mundi prensa, Madrid, España. Circular técnica Núm. 87. 404 p.
- Eswaran, H.; Lal, R. and Reich, P. F. 2001. Land degradation: an overview. *In*: Bridges, E. M.; Hannam, I. D.; Oldeman, L. R.; Pening de Vries, F. W. T.; Scherr, S. J. and Sompatpanit, S. (Eds.). Responses to land degradation. Proc. 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. Oxford Press, New Delhi, India. 254 p.
- Karyanto, A.; Rahmadi, C.; Franklin, E.; Susilo F. e de Moraes. J. 2012. Collembola, Acari y otra mesofauna del suelo: el método Berlese. *In*: Moreira, F. M. S.; Huisling, J. y Bignell, D. E. Manual de biología de suelos tropicales, muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)- Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 337 p.
- Krishnamurthy, L. y Ávila, M. 1999. Agroforestería básica. PNUMA. Oficina regional para América Latina y el Caribe. Serie de textos básicos para la Formación Ambiental Núm. 3. México, D.F. 340 p.
- Macedo, R. L. G.; Gomez, R.; Venturin, N.; Silva, do Vale R. e de Oliveira, K. 2006. Revista *Árvore* Viçosa -MG. 30(5):701-709.
- Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev. Colomb. Cienc. Pec.* 15:226-231.
- Matoso, C. P.; Silva, R. H. de Freitas, G. B.; Prieto, H. E.; Jaramillo, C. e Lages, S. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica*) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na zona da mata MG. *Rev. Árvore.* 31(5):805-812.
- Melloni, R.; Guimarães, E.; Nogueira, M. I. e Marcondes, F. B. 2008. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo.* 32:2461-2470.
- Moreno, S. E. 2007. Características territoriales, ambientales y sociopolíticas del municipio de Texcoco, Estado de México. *Quivera* 9(1):177-206.
- Nair, P. K. R. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic. Dordrecht, The Netherlands. 499 p.
- Pinese, J. F.; Moreira, L. e Rodrigues, S. C. 2008. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra. *Uberlândia, -M. G. Sociedade & Natureza, Uberlândia.* 20(2):157-175.
- SEMARNAT. 2000. Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. México D. F.
- SEMARNAT-CP. 2003. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México.
- Singer, M. J. and Ewing, S. 2000. Soil quality. *In*: handbook of soil science. Chapter 11 (Ed.). Sumner, M. E.). CRC Press, Boca Raton, Florida. 387 p.
- Shaxson, F. y Barber, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, el significado de la porosidad del suelo. FAO. Roma, Italia. 105 p.
- Unger, P. W. 1996. Common soil and water conservation practices. *In*: soil erosion, conservation, and rehabilitation. Marcel Dekker, New York. 402 p.
- UNCCD. 1996. Desertification, particularly in Africa (consultado enero, 2008). www.unccd.int/convention/text/convention.php.
- UNCCD. 2009. Benefits of sustainable land management. 16 p.
- USDA. 1999. Soli taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agriculture handbook Núm. 436. 870 p.