

DIAGNÓSTICO DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN ÁREAS DE BOSQUE, Y PRODUCTIVAS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA EL TRIUNFO

DIAGNOSIS OF THE PROPERTIES OF SOILS IN FOREST AND PRODUCTIVE AREAS OF THE EL TRIUNFO BIOSPHERE RESERVE

López-Báez, W.¹; Ramírez-Vilchis, C.E.², Reynoso-Santos, R.¹, Cadena-Iñiguez, P.^{1*}

¹Investigadores del Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Km 3 carretera Ocozocoautla-Cintalapa, A.P. Num. 1, C.P. 29140 Ocozocoautla, Chiapas. ²Centro Académico Regional Chiapas de la UAAAN, Rancho la Concordia, Cintalapa Chiapas, C.P 30400.

*Autor de correspondencia: cadena.pedro@inifap.gob.mx

RESUMEN

El estudio se realizó en una microcuenca representativa de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI), con el propósito de evaluar la situación en que se encuentran las propiedades de los suelos en tres tipos de uso. Se estudiaron 83 sitios de los cuales 49 fueron de suelos cultivados con café (*Coffea arabica* L.), 24 de suelos con cubierta de bosque y 10 de suelos cultivados con *Zea mays* L.; las variables analizadas fueron: acidez del suelo, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónica (CIC), contenido de fósforo, los cationes básicos (Ca, K, Mg, Na), los micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn y Zn), densidad aparente (g cm^{-3}), porosidad (%), y velocidad de infiltración. Se determinaron e interpretaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT 2000 (DOF, 2002), mientras que para las propiedades físicas se determinó mediante el método de cilindros recomendado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999), con estos datos se obtuvieron medidas de centralidad y dispersión, a través de las cuáles se hicieron pruebas de hipótesis y análisis de correlación y regresión. Los resultados mostraron diferencias significativas entre suelos con cubierta de bosque en comparación con los cultivados con café y maíz; este último, presentó los mayores niveles de degradación. La velocidad de infiltración fue significativamente mayor en los suelos con bosque, confirmando la importancia de la reserva como zona de recarga hídrica. Los suelos cultivados con maíz fueron los menos profundos y los únicos que no presentaron el horizonte "A" (caracterizado por el color oscuro por materia orgánica), debido al proceso de erosión hídrica y al poco aporte de materia orgánica que han tenido durante su explotación. Se concluye que los suelos de maíz y café requieren de un programa de manejo para recuperar y mantener su capacidad productiva, debido al constante lavado por erosión hídrica y la falta de reposición de los nutrientes extraídos por las cosechas.

Palabras clave: Área natural protegida, bosque, café, maíz, suelo.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 3, marzo, 2018. pp: 108-114.

Recibido: noviembre, 2017. **Aceptado:** febrero, 2018.

ABSTRACT

The study was carried out in a representative micro-basin of the El Triunfo Biosphere Reserve (Reserva de la Biósfera El Triunfo, REBITRI), with the purpose of evaluating the situation present in the properties of the soils under three types of use. Eighty-three (83) sites were studied, of which 49 were soils cultivated with *Zea mays* L.; the variables analyzed were: soil acidity, organic matter, cationic exchange capacity (CEC), content of phosphorus, basic cations (Ca, K, Mg, Na), micronutrients (B, Cu, Fe, Mn and Zn), apparent density (g cm^{-3}), porosity (%), and speed of infiltration. They were determined and interpreted according to the NOM-021-SEMARNAT 2000 (DOF, 2002), while the physical properties were determined through the cylinder method recommended by the Natural Resources Conservation Service of the United States Department of Agriculture (USDA, 1999); with these data, measures of centrality and dispersion were obtained, through which hypothesis tests were made, and correlation and regression analyses. The results showed significant differences between soils with forest coverage compared to those cultivated with coffee and maize; the latter presented the highest levels of degradation. The speed of infiltration was significantly higher in soils with forest, confirming the importance of the reserve as a zone of water recharge. The soils cultivated with maize were the least deep and the only ones that did not present the horizon "A" (characterized by the dark color from organic matter), due to the process of hydric erosion and the small contribution of organic matter that they've had during their exploitation. It is concluded that maize and coffee soils require a management program to recover and maintain their productive capacity, due to the constant washing from hydric erosion, and to the lack of replacement of nutrients extracted by the harvests.

Keywords: natural protected area, forest, coffee, maize, soil.

y mucho menos pagos por utilizarlos (López *et al.*, 2014; López *et al.*, 2016). En las últimas décadas la degradación de los suelos ha alcanzado niveles preocupantes. Especialmente la atención se debe fijar en la destrucción de los bosques, la disminución de la biodiversidad, la contaminación del aire y la reducción de la cantidad y calidad del suelo (Alba, 2008). Aunque se sabe que las propiedades de los suelos con cubierta de bosque en comparación con otros usos, presentan condiciones diferentes debido a su manejo y tipo de cobertura, en la zona de la REBITRI no se disponen de estudios formales que permitan con datos confiables sensibilizar a la población, valorar y comparar las diferencias entre los usos de suelo, así como identificar las causas de esas diferencias. Por otra parte, se necesitan datos de las propiedades físicas y químicas de los suelos cultivados con café y maíz (principales medios de vida de la población), que pongan de manifiesto la importancia de su conservación para un aprovechamiento sostenible de los mismos, ya que la pérdida de su capacidad productiva, es un aliciente para expandir la frontera agropecuaria a expensas de los bosques. El objetivo del estudio fue realizar un diagnóstico de las propiedades de los suelos cultivados con café y maíz en comparación con los suelos cubiertos con bosque, como un insumo para buscar alternativas de solución al problema de decremento en la producción. El estudio se enmarca dentro de la estrategia del sector cafetalero para la adaptación, mitigación y reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático de la Sierra Madre de Chiapas, propuesto por la alianza entre instituciones, ONG's y productores (Conservación Internacional, 2011).

INTRODUCCIÓN

El suelo constituye el fundamento más importante de la producción agropecuaria, y, en consecuencia, de la alimentación humana. Tiene como función ser el hábitat para una gran diversidad de organismos, además de ser factor en regulación de los ciclos del agua y carbono, regulación del intercambio de radiación y calor con la atmósfera y la función de filtro y tampón (buffer) para agua, ácidos y sustancias tóxicas (Benzing, 2001); y por ello, es importante monitorear los cambios que sufren las propiedades de los suelos según el uso al que están sometidos para garantizar que estas funciones se mantengan en el tiempo para el bienestar de la humanidad, plantas y animales y los ecosistemas en general. A pesar de la importancia nacional e internacional de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI) (Chiapas, México), su conservación se encuentra amenazada por la falta de estrategias en el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (especialmente los suelos), debido entre otras causas, al desconocimiento e inadecuada valoración que la sociedad y los niveles de gobierno hacen de los servicios ecosistémicos que proporciona, los cuales son aprovechados para su bienestar sin que exista reconocimiento

MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos de bosque, café y maíz analizados se encuentran dentro de la microcuenca La Suiza ubicada en el municipio de Montecristo de Guerrero (Figura 1), con una superficie total de 6,437.1 ha, de las cuales el 82% se encuentra dentro de la REBITRI (López *et al.*, 2012). De acuerdo a Palacios (2012), el 55.7% de la superficie de la microcuenca está ocupada con bosque, el 37.2% (2,391 ha) con café y el 3.7% potreros. En la Microcuenca la Suiza los climas predominantes son semicálido húmedo y Templado húmedo. Se encuentra altitudes desde 1000 a 2600 m con precipitación anual de 2000 a 3000 mm en la parte baja, y de 2500 a 4500 mm en la parte alta, los meses más lluviosos se presentan de abril a octubre. La temperatura promedio anual es de 18 °C a 22 °C en la parte baja y de 12 a 18 °C en la parte alta (Palacios, 2012).

De acuerdo a la información edafológica de la serie II, 1:250,000 (INEGI (2006), en el 95% del área de la microcuenca predominan los suelos clasificados como Leptosoles del tipo Mólico (producto de material calcáreo meteorizado), caracterizados por ser muy someros sobre roca continua y extremadamente gravillosos y/o pedregosos con menos de 20% (en volumen) de tierra fina y con alta susceptibilidad a la erosión (FAO, 2014). En total se estudiaron 83 sitios dentro de toda el área de la microcuenca, de los cuales 49 fueron de suelos cultivados con café, 24 de suelos con cubierta de bosque y 10 de suelos cultivados con maíz (Figura 2). Las muestras de suelos fueron extraídas a una profundidad de 0-30 cm, estrato en el que se encuentra el 86% de las raíces absorbentes

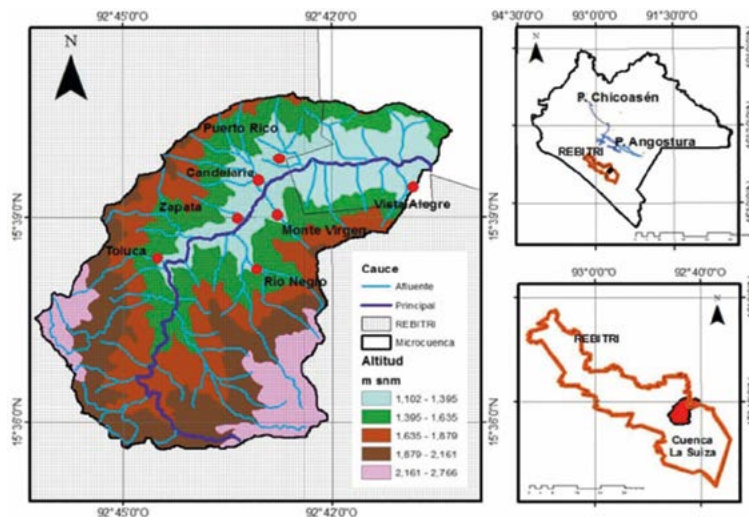


Figura 1. Ubicación de la microcuenca la suiza.

de los cultivos (Carvajal *et al.*, 1969). En cada predio las propiedades físicas fueron medidas en cinco repeticiones, y para el caso de las propiedades químicas se obtuvo una muestra compuesta de suelo a partir de la mezcla de cinco submuestras.

Métodos analíticos

En los predios estudiados se determinaron e interpretaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT 2000 (DOF, 2002), las siguientes propiedades químicas: pH en agua (1:2), materia orgánica (%), K, Ca, Na, Mg y acidez intercambiable (KCl 1N) en $\text{cmoles} + \text{Kg}^{-1}$ y micronutrientes B, Zn, Mn, Cu y Fe en mg kg^{-1} por DTPA. Mientras que para las propiedades físicas se analizó, la densidad aparente (g cm^{-3}), porosidad (%) y velocidad de infiltración determinada mediante el método de cilindros recomendado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999). De los datos se obtuvieron medidas de centralidad y de dispersión, a través de las cuáles se hicieron pruebas de hipótesis y análisis de correlación y regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se presentan los valores medios y extremos de las propiedades estudiadas. En general, se observa una elevada variabilidad en todas las propiedades

químicas de los suelos con casos extremos como la Acidez intercambiable en la cual el coeficiente de variación es superior a 100% en los tres usos del suelo. Se asume que esta variabilidad es producto de la interacción que existe entre los niveles de precipitación, orografía accidentada, material parental y por las

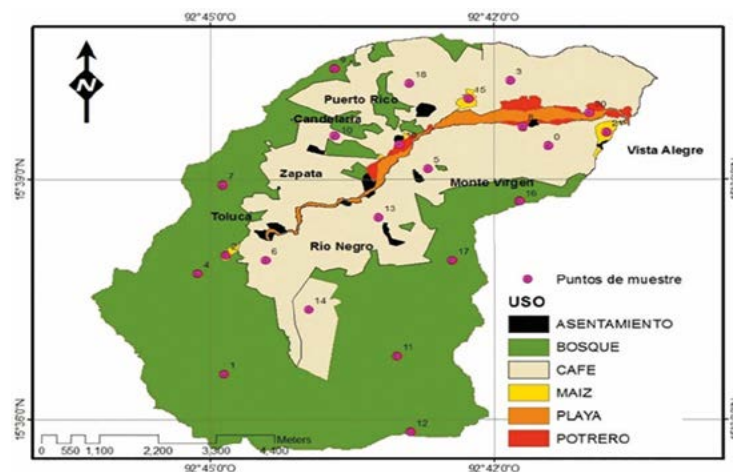


Figura 2. Ubicación de puntos de muestreo según uso de suelo.

Cuadro 1. Estadística de las propiedades químicas del suelo en bosque, café y maíz en la microcuenca la Suiza.

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	±desviación estándar	Coefficiente Variación (%)
pH (1:2) Agua Bosque	5.8	4.9	6.7	0.543	9.33
pH (1:2) Agua Café	5.9	4.4	6.8	0.480	8.19
pH (1:2) Agua Maíz	5.3	4.8	5.9	0.298	5.63
Materia orgánica (%) Bosque	10.60	3.7	24.8	5.90	55.7
Materia orgánica (%) Café	8.51	2.61	21.8	4.40	51.7
Materia orgánica (%) Maíz	7.06	3.4	12.1	2.53	35.8
CIC (meq/100g) Bosque	17.7	3.5	50.5	13.32	75.44
CIC (meq/100g) Café	16.4	4.3	47.0	7.959	48.52
CIC (meq/100g) Maíz	7.8	3.7	13.2	3.114	39.70
Acidez Intercambiable Bosque	10.0	0.0	70.9	18.609	185.39
Acidez Intercambiable Café	2.9	0.0	29.1	7.287	247.72
Acidez Intercambiable Maíz	11.0	0.0	54.8	16.461	149.90
Fósforo (ppm) Bosque	20.1	0.7	92.6	25.13	124.79
Fósforo (ppm) Café	27.8	1.1	140.6	27.64	99.47
Fósforo (ppm)Maíz	11.1	0.7	41.1	13.0	117.17

prácticas de manejo del cultivo del café y maíz (aplicación de materia orgánica, fertilización y realización de prácticas para control de la erosión). Aunque con diferencias entre los usos del suelo, el pH es la variable más homogénea con coeficientes de variación inferiores a 10%,

La acidez del suelo

El pH es probablemente la característica química más importante del suelo porque influye en casi todos los demás aspectos del mismo (Bloom, 2000; Benzing, 2001). Los valores obtenidos indicaron una acidez generalizada en el suelo independientemente del uso al que está sometido (Cuadro 1), ya que tanto en café, bosque y maíz la mayoría de ellos se clasifican como moderadamente ácidos, con valores promedios de pH entre 5.1 y 6.5. Esta acidez generalizada puede ser atribuida al material parental que dio origen a los suelos y a la acción constante de lavado al que están sometidos los suelos por la erosión hídrica (Palacios, 2012). Es probable que las condiciones de acidez están frenando el desarrollo de las bacterias y abatiendo el proceso de mineralización de materia orgánica, con alta proliferación de hongos y nulificación de la actividad bacteriana (Noriega et al., 2014).

No se observó diferencia estadística entre los valores de pH de bosque (5.8 ± 0.54) y café (5.9 ± 0.48). Sin embargo, los valores de pH de los suelos cultivados con maíz (5.3 ± 0.3) fueron estadísticamente diferentes a los

obtenidos en los suelos con café y bosque; la mayor acidez en los suelos maiceros es resultado de su deterioro por erosión hídrica, quema de residuos de cosecha y al uso de fertilizantes amoniacales (sulfato de amonio). De acuerdo a Valencia (1998) cuando el pH es menor de 5.5 existen otros factores asociados a la acidez que realmente limitan el desarrollo de las plantas, uno de ellos es la presencia de aluminio (Al) en la solución del suelo, que afecta el crecimiento radicular impidiendo que la planta pueda absorber normalmente nutrientes y agua. Por ello, el porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que está ocupado por Al e H, es el mejor criterio para diagnosticar problemas de acidez, y aunque, cada cultivo tiene su grado de tolerancia a la acidez, en general, ningún cultivo soporta más de 60% de saturación de acidez y el valor deseable para la mayoría de las plantas oscila entre 10% y 25%. En particular, las plantas de café y maíz son afectadas cuando la saturación de aluminio es mayor a 25% (Molina, 1988). La presencia de aluminio se observó en 80% de los sitios cultivados con maíz, en el 63% de los bosques y en 39% de los de café. Los suelos con café presentaron los menores porcentajes de saturación de Al en la CIC con 2.9% (± 7.3) y fueron estadísticamente diferentes a los suelos de bosque (10 ± 18.6) y maíz (11 ± 16.5).

Materia orgánica

Los suelos de bosque presentaron el promedio más alto con 10.6% (± 5.9) y fueron estadísticamente diferentes a los suelos de maíz con 7.1% (± 2.53) y café con 8.5%



(± 4.4). De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, sólo 12% de los sitios de bosque se ubicaron en las categorías de muy bajo y bajo contenido de materia orgánica, mientras que en los sitios cultivados con café y maíz fueron de 28.6% y 30%. El valor máximo de materia orgánica encontrado en los suelos de maíz fue de 12.1%, inferior a los valores máximos encontrados en los suelos de bosque y café con 24.8% y 21.8%; el menor contenido de materia orgánica en los suelos con uso agrícola es de producto del lavado constante por la erosión y la ausencia de prácticas de conservación particularmente en los suelos cultivados con maíz.

La Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC)

La CIC constituye uno de los parámetros más importante de la fertilidad del suelo debido a su papel como almacén de K, Mg y Ca fácilmente disponibles, pero protegidos contra el proceso de lixiviación (Benzing, 2001; Arcila y Farfán, 2010). Los suelos cultivados con maíz presentaron el promedio más bajo de CIC con una media de 7.8 (± 3.1) meq/100 g de suelo y fueron estadísticamente diferentes a los suelos cultivados con bosque y café con 16.4 (± 7.9) y 17.7 (± 13.3) meq/100 g respectivamente. Los promedios entre los suelos de café y bosque fueron estadísticamente iguales. Los coeficientes de variación indicaron que los valores de CIC en los suelos con maíz son más consistentes por presentar la menor variabilidad. Estos datos indican que los suelos cultivados con maíz tienen la menor capacidad para retener e intercambiar cationes en el suelo (Chávez, 2012).

Contenido de Fósforo

Se observó alta variabilidad en el contenido de fósforo independientemente del uso del suelo. Sin embargo, en los suelos maiceros se presentó el contenido más bajo con un promedio de 11.1 mg kg⁻¹ (± 13.0), seguido por los suelos de bosque y café con 20.1 (± 25.1) y 27.9 (± 27.6) respectivamente. De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, el 80% de los sitios cultivados con maíz se ubicaron en la categoría de bajo contenido al presentar valores inferiores a 15 mg kg⁻¹, mientras que para los suelos de café y bosque el porcentaje fue de 49 y 62.5 mg kg⁻¹.

Los cationes básicos (Ca, K, Mg, Na)

El promedio los suelos cultivados con maíz presentaron los niveles más bajos de Ca con 5.3 meq/100 g (± 2.8) y fueron estadísticamente diferentes a los contenidos en los suelos de bosque (13.33 ± 12.0) y de café (12.8 ± 7.2); entre bosque y café no hubo diferencia estadística. De

acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, el 50% y 67% de los sitios de bosque y café se ubican en la categoría de alto contenido de Ca con valores superiores a 10 meq/100g de suelo; mientras que en los suelos con maíz no se ubicó ningún sitio en esta categoría. Con respecto al contenido de K, no se registró diferencia estadística entre los usos del suelo con promedio de 0.6 (± 0.21) meq/100g para bosque, 0.6 (± 0.30) para café y 0.7 (± 0.22). Con excepción de un 8% de los sitios de café que ubicaron en la categoría de bajo contenido, el resto de los sitios sin importar el uso del suelo se ubicaron en las categorías de media y alta con valores por arriba de los 0.3 meq/100g de suelo. Para el caso del Mg, los suelos cultivados con maíz presentaron los niveles más bajos con promedio de 1.1 (± 0.48) meq/100g, y fueron estadísticamente diferentes a los suelos de bosque (3.2 ± 2.0) y café (2.7 ± 1.2). Resalta el hecho de que 98% de los sitios de café se ubicaron en la categoría de muy bajo contenido de Mg con valores menores a 0.5 meq/100g de suelo, mientras que en el bosque y maíz estos valores fueron de 21 y 30 respectivamente. En cuanto al sodio los promedios fueron iguales con valor de 0.1 meq/100g en los tres usos de suelos.

B, Cu, Fe, Mn y Zn

De todos los micronutrientes analizados, el Boro y Zinc fueron los elementos más deficientes independientemente del uso del suelo. En promedio los suelos con maíz presentaron los niveles más bajos de B con 0.2 (± 0.1) mg kg⁻¹ y fueron estadísticamente diferentes a los contenidos en los suelos de bosque (0.6 ± 0.6 mg kg⁻¹) y de café (0.5 ± 0.3 mg kg⁻¹); entre bosque y café no hubo diferencia estadística. De acuerdo a los criterios de la NOM-021-SEMARNAT-2000, el 100% de los sitios de maíz se ubicaron en la categoría de muy bajo contenido de B con valores inferiores a 0.39 mg kg⁻¹; mientras que para los suelos con bosque y café fueron de 42% y 43%. Con respecto al contenido de Zn, los suelos con maíz presentaron el contenido más bajo 0.9 (± 0.7 mg kg⁻¹) seguido del bosque con 1.8 (± 1.6 mg kg⁻¹) y café (± 3.2 mg kg⁻¹). El 50% de los suelos de maíz se ubicaron en la clase de marginal y deficiente con valores menores a 1.0 mg kg⁻¹, mientras que, en los suelos de café, este valor fue de 12%, y 29% en los de bosque. En los que respecta a las propiedades físicas, en el Cuadro 2, se presentan los valores medios y extremos para los tres usos del suelo.

Densidad aparente (g/cm³) y porosidad

Los suelos cubiertos de bosque en promedio presentaron además de la menor variabilidad en los datos

Cuadro 2. Estadística de las propiedades físicas del suelo en bosque, café y maíz en la microcuenca la Suiza.

Variable		Promedio	Mínimo	Máximo	± desviación estándar	C.V. (%)
Densidad aparente (g cm^{-3})	Bosque	0.76	0.61	0.96	0.10	13.43
	Café	0.89	0.57	1.36	0.17	19.63
	Maíz	0.91	0.61	1.12	0.17	18.44
Porosidad (%)	Bosque	71.4	63.8	77.0	3.8	5.38
	Café	69.2	49.0	87.0	7.6	11.0
	Maíz	65.6	57.7	77.0	6.3	9.6
Tiempo de infiltración (segundos) de 543 ml	Bosque	54.90	13.87	145.500	33.80	61.56
	Café	298.44	8.00	1500.00	137.20	115.28
	Maíz	201.18	3.128	476.500	146.90	73.02

(C.V.=13.43%), los menores valores de densidad aparente con $0.76 (\pm 0.10) \text{ g/cm}^3$, en comparación con los suelos cultivados con café y maíz con valores de $0.89 (\pm 0.17) \text{ g/cm}^3$ y $0.91 (\pm 0.17) \text{ g/cm}^3$ respectivamente; resultando estadísticamente diferentes. Entre los suelos de café y maíz no hubo diferencia estadística. Se deduce que la porosidad encontrada en los suelos de bosque se reduce al cambiar el uso hacia los cultivos de café y de maíz, probablemente por el constante pisoteo de las personas que realizan las prácticas de cultivo, especialmente durante la temporada de lluvia cuando los suelos están húmedos y son más susceptibles a la compactación. Usando los criterios señalados por USDA (1999), a pesar de la diferencia entre ellos, en ninguno de los usos del suelo, los niveles de densidad aparente fueron tan altos para ocasionar afectaciones por compactación en el crecimiento radicular de las plantas. Lo anterior, es congruente con los valores promedios de porosidad estimados para el bosque de 71.4% (± 3.8), café de 69.2% (± 7.6) y maíz de 65.6% (± 6.3); los cuales son considerados adecuados por FAO (2015) y clasificados como de alta y muy alta porosidad (Flores y Alcalá, 2005).

Velocidad de infiltración

En promedio la tasa de infiltración en los suelos de bosques fue de 8.43 ml s^{-1} la cual fue estadísticamente diferentes a los de los suelos de café 1.55 ml s^{-1} y maíz de 2.3 ml s^{-1} . Entre los suelos de café y maíz no hubo diferencia estadística. El mayor contenido de materia orgánica influyó para que la velocidad de infiltración en los bosques fuera 4.5 y 3.7 veces más rápida que en los suelos de café y maíz respectivamente; a pesar de que los bosques se ubican en terrenos con mayores pendientes (69%) en comparación con los suelos de café y

maíz ubicados en pendientes de 48% y 47% respectivamente. La clasificación de los suelos según su velocidad de infiltración tomando los criterios sugeridos por USDA (1999). Se observa que el 100% de los sitios con bosque, el 53% de café y el 70% de maíz se ubicaron en la clase de muy rápida infiltración con velocidades menores a los 1.18 min cm^{-1} .

CONCLUSIONES

Se observa una acidez generalizada en el suelo independientemente del uso al que está sometido; sin embargo, los suelos cultivados con maíz presentaron los menores valores de pH y mayor presencia de Al. Los suelos de bosque poseen mayor materia orgánica que los cultivados con maíz y café, los cuales tienen contenidos similares. Los suelos maiceros tienen la menor capacidad para retener e intercambiar cationes en el suelo mientras que en el bosque y café no hay diferencia. 80% de los sitios cultivados con maíz son pobres en fósforo con menos de 15 mg kg^{-1} , y también tienen los niveles más bajos de Ca, Mg, B y Zn. En ningún uso del suelo se detectó posible afectación de la compactación en el crecimiento radicular de las plantas, aunque en los suelos de maíz y café los valores de densidad aparente fueron mayores. La capacidad de infiltración en los suelos de bosques fue 5.4 y 3.7 veces mayor que en el café y maíz, debido a su mayor contenido de materia orgánica. En general los suelos más degradados son los de maíz debido deterioro por erosión hídrica, quema de residuos de cosecha, uso de fertilizantes amoniacales y ausencia de prácticas de conservación. Se requieren acciones de restauración y conservación de los suelos cultivados con café y maíz para garantizar su capacidad productiva y disminuir la presión sobre la REBITRI.

LITERATURA CITADA

- Alba-Pazos F.A. 2008. Indicadores de la calidad agronómica de los suelos hortícolas del ejido de Mixquic, DF, 133pp
- AMECAFE. 2010. Padrón nacional cafetalero. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, A.C. México. (cartografía digital).
- Arcila P.J., Farfán V.F. 2010. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en la producción de la finca. En Sistema de producción de café en Colombia. Capítulo 9. Pp. 202-232.
- Benzing A. 2001. Materia orgánica-Fósforo. En agricultura organica (Vol. 1, p. 56,166-167,193). Alemania: Neckar-Verlag
- Bloom P.R. 2000. Soil pH and pH buffering. En: Summer Me et al (eds) Handbook of soil science. CRC, Boca Ratón. BMELF (1984-1999). Agrarbericht. Bonn. Pp. B333-B352
- Carvajal J. F., Acevedo, A., López C.A. 1969. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. Turrialba, Costa Rica, CA. 19(1):13-20.
- Chávez S.M. 2012. Relaciones catiónicas y su importancia para la agricultura. Revista Ventana Lechera. Edición No. 18. Año 6, febrero 2012. Pp 11-20.
- Conservación Internacional. 2011. Estrategia del sector cafetalero para la adaptación, mitigación y reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático de la Sierra Madre de Chiapas. 80 p.
- Diario Oficial. 2002. Interpretación de Resultados de Materia Orgánica. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreos y análisis. DOF del día martes 31 de diciembre de 2002. México. 85 p.
- FAO. 2014 Propiedades del suelo. Propiedades químicas. En portal de suelos. Consultado en <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>
- FAO. 2015 Propiedades del suelo. Propiedades químicas. En portal de suelos. Consultado en <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>
- Farfán V.F., Urrego J.B. 2007. Descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes de *Coffea arabica*, *Cordia alliodora*, *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus grandis*, en sistemas agroforestales con café. Cenicafé 58(1):20-39.
- Gerardo N.A., Brenda C.R. Manuel A.G.C., Rita S.R., Sergio C.H., Jesús L.B., Eduardo G. de la R., Ulises Iván L. R., Alexander M.H. 2014. Intensificación de la producción en la agricultura orgánica: caso café. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.5 Núm.1 1 de enero - 14 de febrero, 2014 p. 163-169
- López-Báez W., Salinas-Cruz E., Reynoso-Santos R. 2011. Conectividad hídrica entre municipios, cuencas y Reserva de la Biósfera El Triunfo. Potencial para la creación de un mercado local de agua. Libro Técnico No. Campo Experimental Centro Chiapas, INIFAP. 80 p.
- López-Báez W., Magdaleno-G.R., Castro-Mendoza I. 2012. Riesgo a deslizamientos de laderas en siete microcuencas de la Reserva de la Biósfera El Triunfo. Libro Técnico No. 7. Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP. Ocozacoautla, Chiapas, México. 208 p.
- López-Báez W., Camas-Gómez R., Reynoso-Santos R., Cadena-Iñiguez P., Castro-Mendoza I. 2014. Conectividad hídrica entre cuencas, municipios y reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Publicación especial No. 8. Pp. 1417-1423.
- López-Báez W., Palacios G.B., Reynoso-Santos R. 2016. Diagnóstico de los servicios ecosistémicos en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol.7 No. 34. Pp. 21-34.
- OEIDRUS. 2011. Estadísticas agropecuarias de Chiapas. Cultivos cíclicos y perennes 2009. Modalidad riego y temporal. En: http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_chi/.
- Palacios B. 2012. Análisis participativo de la oferta, amenazas y estrategias de conservación de los servicios ecosistémicos (SE) en áreas prioritarias de la subcuenca "La Suiza"-Chiapas México. Tesis de Maestría en Ciencias. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 118 p.
- SAGARPA. 2010. Servicio de información agroalimentaria y pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. (programa informático)
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura. Instituto de calidad de suelos. 88 p.
- Valencia G. 1998. Nutrición del cafeto. En Manual de Nutrición y fertilización del café (pp. 18-34). Costa Rica.

