

LA TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES DE SUELOS EN SECTOR SUR DEL ESTADO DE PUEBLA. LA ACTIVIDAD HUMANA COMO FACTOR DE RIESGO.

THE TRANSFORMATION OF SOIL UNITS IN THE SOUTHERN REGION OF THE STATE OF PUEBLA: Human activity as a risk factor

Jesús Ruiz Careaga,* Jesús Francisco López-Olguín,** Gladys Linares Fleites, ***
Itzel Arroyo Ortega,**** Edgardo Torres Trejo,+ José Ticante Roldán++

* Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas.

****Posgrado de Ciencias Ambientales. Instituto de Ciencias

Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. 14 sur 6301, Edificio: IC1,
Col. San Manuel , Ciudad Universitaria. C.P. 72570. Puebla, Puebla. México.

Email: ajcareaga@gmail.com; gladys.linares@correo.buap.mx; itzel.arroyoo@alumno.buap.mx;
antonio.ticante@correo.buap.mx

Abstract

Human activity has contributed to the transformation of the morphological, physical, and chemical variables of soils in a sector of the southern part of the state of Puebla. The study was carried out with information obtained from the municipalities of Tepexi de Rodríguez, Tehuacán, Azumiatla, Chila de la Sal, and, San Felipe Tepatlán; where agricultural practices, intensive grazing and deforestation in terrestrial ecosystems, with a predominance of soils susceptible to erosion due to the existence of sloping relief and rainfall with concentrated intensities in a short period, have favored the loss of edaphic richness, transforming the original preserved landscapes into denuded areas and soils with

agricultural potential converted into secondary units, that is: secondary units are soils that have been subjected to an erosive process, lose their original characteristics and because they are degraded they must be classified again, thus forming a new type of soil or secondary unit, which means that they can no longer provide the environmental services and functions they used to provide. In this work, two groups of soils are studied, one group of conserved soils and another group similar to the conserved soils in terms of relief, parent rock, and climatic conditions, but affected by inadequate management, which has favored the transformation of original soils into units unsuitable for agriculture. The results show that, during the degradation process, morphological, physical, and chemical particularities of the soils that once characterized the edaphic richness of this region, mentioned in the previous paragraph, were affected. Currently, the landscape is dominated by shallow soils, an excess of rocks and stones on the surface and in the interior, and a loss of vegetation cover. This process continues to affect new agricultural lands in this region of the state of Puebla.

Keywords: Soil erosion, rainfed agriculture, intensive grazing, landscape transformation, secondary soil units.

Resumen

La actividad humana ha contribuido a la transformación de las variables morfológicas, físicas y químicas de los suelos en un sector del sur del estado de Puebla, el estudio se ha realizado con la información obtenida de los municipios de Tepexi de Rodríguez, Tehuacán, Azumiatla, Chila de la Sal y San Felipe Tepatlán; donde las prácticas agrícolas, pastoreo intensivo y deforestación en ecosistemas terrestres, con predominio de suelos susceptibles a la erosión a causa de la existencia de relieves en pendientes y precipitaciones pluviales con intensidades concentradas en un período corto; han favorecido la pérdida de la riqueza edáfica, transformando los paisajes originales conservados en áreas denudadas y suelos con potencial agrícola convertidos en unidades secundarias, esto es: las unidades secundarias son suelos que han sido sometidos por un proceso erosivo, pierden sus características originales y por estar degradados se deben clasificar nuevamente, así forman un nuevo tipo de suelo o unidad secundaria, es decir que ya no pueden prestar los servicios y funciones ambientales que antes brindaban. En este trabajo se estudian dos grupos de suelos, uno de suelos conservados y otro grupo similar a los conservados en cuanto a relieve, roca madre y condiciones climáticas, pero afectados por el manejo inadecuado, lo que ha favorecido la transformación de suelos originales en unidades inapropiadas para la agricultura. Los resultados muestran que, durante el proceso de degradación se afectaron particularidades morfológicas, físicas y químicas de los suelos que una vez caracterizaron la riqueza edáfica de esta región, mencionada en el párrafo anterior. Actualmente existe un paisaje dominado por suelos de poca profundidad, exceso de rocas y piedras en la superficie y al interior y pérdida de la cobertura vegetal. Este proceso continúa afectando nuevas tierras agrícolas en esta región del estado de Puebla.

Palabras clave: Erosión de suelos, agricultura de temporal, pastoreo intensivo, transformación del paisaje, unidades de suelos secundarias.

Introducción

El área de estudio es una región semiárida que se encuentra al sur del estado de Puebla, donde existen paisajes alomados y ondulados con pendientes que no sobrepasan el 25 % y con predominio de sue-

los susceptibles a la erosión, donde se desarrolla un proceso erosivo que es favorecido por la actividad humana. El área de estudio es una región semiárida que se encuentra al sur del estado de Puebla. Por este: “Se estudia la región semiárida que se encuentra al sur del estado de Puebla a partir de la información obtenida en varios municipios del estado”. El proceso erosivo que afecta los suelos en esta parte del estado de Puebla, degrada y disminuyen la productividad de suelos agrícolas y forestales, provocan el desabasto de alimentos y empeoran las condiciones ambientales del entorno. Este proceso se extiende peligrosamente sobre áreas agrícolas próximas a la ciudad de Puebla, con un avance que es perceptible por cambios en la cobertura vegetal, sustituida en parte por cultivos agrícolas, áreas de pastoreo y pérdida parcial o total de la cobertura vegetal; además de la presencia de especies de zonas secas que invaden áreas agrícolas en proceso de degradación; de igual forma, las áreas con cobertura edáfica que alguna vez fueron sustento de cultivos rentables, hoy se han convertido en tierras degradadas que han perdido la capacidad de producir bienes y servicios.

En este estudio se muestra y se hace énfasis en el impacto de la actividad humana como factor de transformación de un entorno que en épocas pasadas en un periodo entre 7 a 10 décadas, sustentaba una biodiversidad de flora y fauna mucho más rica que la actual y donde la seguridad alimentaria no era un problema para las comunidades rurales de la región. La pérdida de los suelos por el manejo inadecuado de estas tierras pone en peligro la sustentabilidad de los ecosistemas terrestres en zonas áridas (Cerdá et al., 2007; Montilla et al., 2018). El proceso erosivo de los suelos ha estado influenciado por el hombre al deforestar, cultivar en pendientes o practicar el pastoreo intensivo (Ruiz et al., 2004; Reynolds et al., 2005; Espinoza et al., 2011; Trucíos-Caciano et al., 2011); lo que ha provocado modificaciones profundas en las particularidades de los suelos y una disminución importante en las funciones ambientales y de servicio que éstos prestan (Quichimbo et al., 2017); este descuido ha favorecido la transformación de unidades de suelos que originalmente fueron productivas en unidades secundarias no aptas para la agricultura y ponen en peligro la estabilidad de ecosistemas terrestres y una seria amenaza de desertificación en áreas agrícolas del estado de Puebla, creando problemas ambientales, económicos, sociales (Orsag, 2009) y de pobreza (Morales y Parada, 2005). Este proceso no solo se desarrolla en Puebla, también en otros estados de México y en 110 países del planeta se cierne la amenaza de este flagelo. África, Asia y América Latina son las regiones donde este proceso es grave, algo que se destaca en un informe preparado para el 60 aniversario de la UNESCO donde se relaciona la desertificación con los males de la humanidad: pobreza, migraciones y seguridad alimentaria. A pesar de que América Latina es reconocida por la existencia de bosques tropicales, en esta región el 25 % del territorio está ocupado por desiertos y zonas áridas, las tierras se están deteriorando a causa de la explotación abusiva de los recursos naturales (Oficina Pública “memobpi”, 2015).

El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios de las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos bajo diferentes condiciones de erosión y mostrar el estado actual de deterioro del entorno como consecuencia del manejo inadecuado de los suelos, lo que representa un peligro de desertificación en zonas con déficit de humedad y temperaturas extremas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la parte centro sur del estado de Puebla, comprende la parte rural del municipio de Puebla que bordea la presa Valsequillo y el municipio de Tzicatlacoyan (Figura 1). Es un territorio donde predominan relieves en pendiente, se practica la agricultura y la ganadería intensiva con ganado bovino y caprino, en el paisaje se combinan sectores agrícolas con otros degradados por la actividad humana, muchos de éstos presentan niveles de degradación que van desde muy fuerte hasta muy severamente degradados (Ruiz et al., 2013).

Los factores naturales que favorecen la degradación de los recursos naturales, especialmente el recurso suelo, son: las lluvias, con la existencia de un período seco y otro húmedo donde coinciden la mayor parte de las precipitaciones, con intensidades ocasionalmente muy fuertes, medidas a partir del volumen de agua que cae durante una lluvia en un momento o tiempo dado y que favorecen el arrastre del suelo por las aguas de escorrentías, a pasar que la media anual está alrededor de los 800 mm; el clima está clasificado como C(W1)(W) subtipo humedad media dentro de los templados subhúmedos (García, 1964; INEGI, 2000); son suelos sensibles a la erosión, lo que favorece el arrastre de la parte superior, la más fértil y productiva y un relieve con pendientes que favorece el escurrimiento superficial. A estos factores se le suma la actividad humana, tala indiscriminada de la vegetación, agricultura en pendientes sin aplicar sistemas de medidas antierosivas y pastoreo intensivo que impactan de manera negativa sobre los recursos naturales, con un impacto acentuado en los suelos. Estas actividades realizadas por el hombre provocan cambios en las variables morfológicas, físicas y químicas y son la causa de que unidades de suelos originales, como los Molisoles y Calcisoles, se transformen en unidades secundarias como los Leptosoles.

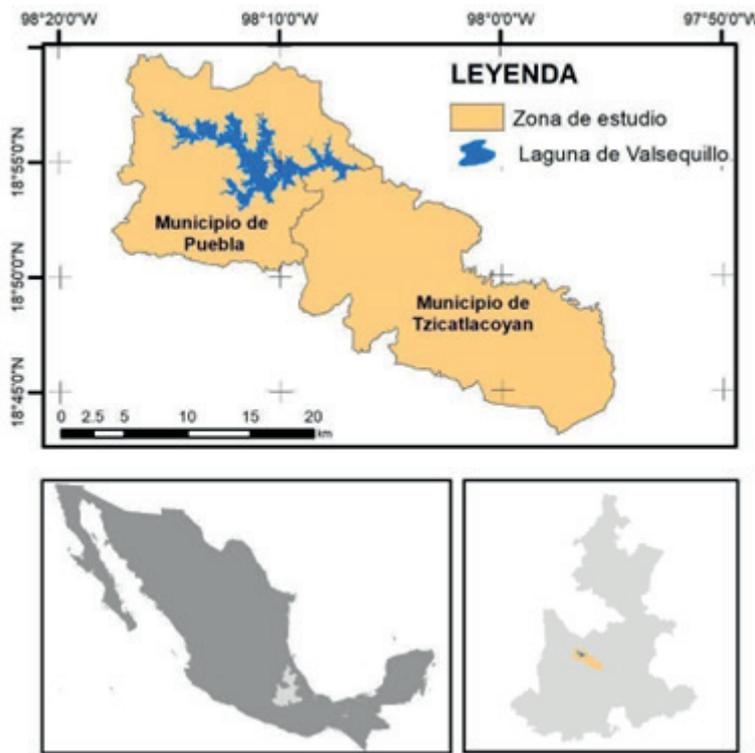


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio (Elaboración propia con información de INEGI, 2009).

En el estudio se compararon dos grupos de suelos; un grupo de suelos conservados (Perfil-1, 2, 3, 4 y 5) y otro grupo de sus similares erosionados (Perfil-6, 7, 8, 9 y 10), de un total de 48 perfiles con condiciones similares de relieve, roca madre y clima, solo diferenciados por el uso y manejo a que han sido sometidos. En épocas pasadas, los suelos de ambos grupos constituían una sola unidad y se clasificaban de la misma forma, como Molisoles y Calcisoles; los cambios provocados por la erosión hídrica y la actividad humana transformaron las unidades originales (Suelos conservados) en unidades de suelos secundarias (Suelos erosionados) por cambios de las variables morfológicas, físicas y químicas provocados por la erosión y el manejo inadecuado.

Los suelos conservados se tomaron como referentes para compararlos con sus similares erosionados. Los sitios donde se describieron estos suelos, por lo general son áreas muy reducidas, muchas veces

similares a pedestales, que se denominan en este trabajo “Islas edáficas” que ocupan entre 1 a 8 m² de superficie (Figura 2), ubicadas en un paisaje denudado por la erosión, la actividad humana y las condiciones climáticas ya descritas.



Figura 2. “Islas edáficas” preservadas por una vegetación de pastos bajos y árboles, rodeada por una extensa área con erosión muy severa (aflora la roca). Tepenene, municipio de Tzicatlacoyan, Puebla (Elaboración propia).

Las variables morfológicas evaluadas son: espesor de los horizontes, color mediante la tabla de colores (Munsell, 2000), desarrollo radical y el contenido (%) de gravas, piedras y rocas, tanto al interior del perfil como en la superficie. Las variables físicas fueron: La textura, estructura y densidad aparente. Finalmente las variables químicas fueron: capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, materia orgánica y contenido de CaCO₃. Los análisis físicos y químicos se realizaron según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis de resultados. Se aplicó estadística descriptiva, comparación de desviaciones estándar (Prueba F) y se realizó la comparación estadística de medias (Prueba t de Student) o medianas (Prueba de Mann-Whitney), según se cumplió o no el supuesto de homogeneidad de varianzas). En todos los casos se concluyó considerando un nivel de confianza del 95 % ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfológicas

La profundidad es una de las variables morfológicas más afectadas por los procesos erosivos (Brunel y Seguel, 2011) e influye en los rendimientos de los cultivos (Peralta, 2013), es un factor limitante para el desarrollo de las raíces, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, afectando además la infiltración y las opciones de labranza (FAO, 2000, p. 4). En los suelos estudiados existen casos donde se han perdido los horizontes edáficos y la roca aflora en la superficie (Erosión muy severa), en otros casos la pérdida de los horizontes es parcial, mientras que en las áreas conservadas las pérdidas son mínimas. Para realizar el estudio, se seleccionó entre los suelos conservados un perfil que fue considerado el patrón, con lo cual no fue necesario incluir todos los perfiles conservados y hacer más práctica la comparación. Este perfil patrón tuvo un horizonte (perfil patrón, es seleccionado entre los perfiles descritos en zonas conservados, que no han sufrido el impacto de procesos erosivos y que conservan sus horizonte edáficos sin síntomas apreciables de degradación). Se define horizonte a las capas de suelos que se desarrollan o forman horizontalmente desde la superficie hasta las rocas y que se definen por el espesor, el color, una menor densidad o dureza con respecto a la roca, además de

ser ricos en materia orgánica. A de 16 cm de espesor y un B de 31 cm, con un espesor total de 47 cm considerando ambos horizontes, suficiente para sostener una agricultura rentable y cumplir con la función ambiental de los suelos (Cabrera et al., 2014). Para el grupo de suelos degradados se tomaron en cuenta los cinco perfiles previamente seleccionados. En la Figura 3 se muestran las características del perfil patrón y del perfil-5 de los suelos degradados como ejemplo. En la Figura 4 se observa que el perfil patrón conserva todos sus horizontes (A, B y C); mientras que, en el grupo de los suelos degradados todos los perfiles perdieron el horizonte A y el B (en color gris), con excepción del perfil 1 que conservó 19 cm del horizonte B. En términos de profundidad, la pérdida promedio de suelo fértil en áreas degradadas, con respecto al patrón, fue de 43.2 cm, que corresponde a la profundidad del horizonte A, más la media de la pérdida en profundidad correspondiente al horizonte B.

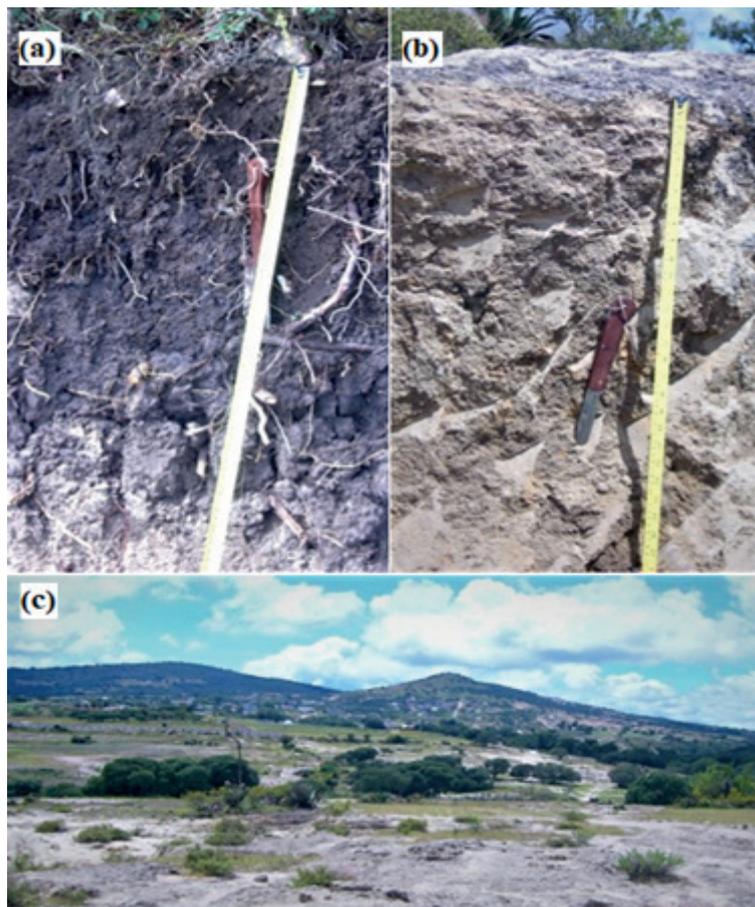


Figura 3. (a) Perfil patrón con los horizontes A y B. (b) Perfil-5, con pérdida total de los horizontes edáficos y afloramiento de la roca. (c) Paisaje denudado típico de áreas con erosión muy severa en la zona de estudio (Elaboración propia).

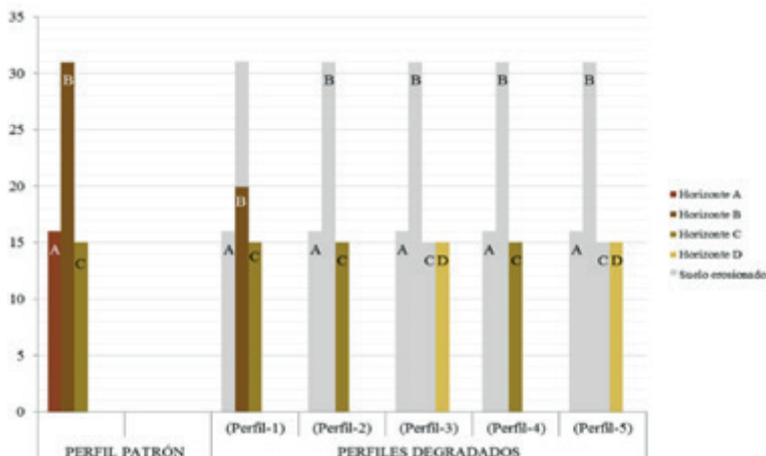


Figura 4. Profundidad y pérdida por erosión de los horizontes edáficos (elaboración propia).

Una tasa de formación de suelo de 25 mm en 30 años es equivalente a 12.5 Tn/he/año y es considerada la pérdida de suelo por erosión permisible que no debe ser superada en suelos agrícolas (Hudson, 1984, p. 22; Anaya et al., 1991, p. 7). Según este cálculo; si bien no podemos calcular con exactitud las pérdidas de suelo anuales, porque no se conoce en qué momento se inició el proceso de erosión en este territorio del estado de Puebla, si podemos calcular la erosión actual en los sectores erosionados tomando en cuenta cuatro de los cinco perfiles presentados en la Figura 4 que han perdido totalmente los horizontes A y B (47 cm de espesor), lo cual representa una erosión actual de 235 Tn/ha, un valor que debe superar la cantidad de suelo permitido en áreas agrícolas.

En cuanto al color, se observó un cambio de coloración entre el perfil patrón y el grupo de suelos erosionados, que van desde colores pardos oscuros (Incluir colores por tabla Munsell) e incluir lo siguiente: (5YR 3/3) en los conservados (Perfil patrón), a tonalidades más claras del pardo (xxxx) y hasta grises (xxxx) en los erosionados, ocasionado por la pérdida de la materia orgánica que es arrasada junto con el suelo por las aguas de escorrentía o bien se mineraliza por exposición a los rayos solares. Este cambio de coloración es evidencia de la pérdida de calidad de los suelos por efecto de la erosión, ya que, al perderse la parte superficial, el suelo es sustituido por horizontes inferiores con bajos contenidos en materia orgánica (Domínguez-Soto, 2012). El color es una de las características importantes para definir propiedades de los suelos, además de ser fácil de determinar (Barrera-Bassols y Zinck, 2000; De la Rosa, 2008, p. 205) y fue empleada por los Mayas en la nomenclatura de los suelos como propiedad distintiva relacionadas con las propiedades químicas y mineralógicas de éstos (Bautista-Zúñiga et al., 2003).

El sistema radical de las plantas en suelos conservados logra un buen desarrollo, porque existen condiciones favorables para el crecimiento de las especies vegetales, tienen buena estructura y alto contenido en materia orgánica, lo cual permite que las raíces penetren con facilidad; mientras que en los suelos degradados, existen condiciones de poco espesor del suelo, baja humedad y bajo contenido de materia orgánica, que impiden que las especies vegetales proliferen adecuadamente y desarrollen sistemas radicales abundantes, siendo ésta una de las características que pueden identificar cambios morfológicos en unidades de suelos. Según Porta (1999, p. 51), el desarrollo del sistema radical es una respuesta a las condiciones existentes en el suelo. Otra característica morfológica que define la transformación de unidades originales en otras de segundo orden es el incremento de las gravas, piedras y rocas, tanto en superficie, como al interior del perfil. En los suelos conservados, estos tres elementos se observaron distribuidos en un espesor que puede sobrepasar los 100 cm en algunos sue-

los y el contenido de elementos gruesos se distribuyeron espaciadamente; contrario a lo que sucedió en el grupo de los erosionados, que han perdido parte de la masa de los suelos, por lo que estos elementos se concentraron en un espacio mucho menor. En los suelos erosionados fue común observar un alto porcentaje de gravas, rocas y piedras en la superficie y al interior del perfil y un cambio de la estructura original, transformándolos en unidades edáficas secundarias, no aptas para la agricultura, ganadería y uso forestal.

Propiedades físicas

Los valores de densidad aparente (DA) cercanos a la unidad son característicos de suelos conservados; los cuales, por efecto del laboreo y la erosión pueden crear un ambiente edáfico pobre con valores de la DA superiores a la unidad ya señalado por Agostini et al. (2014) (Figura 5). Este resultado está relacionado con los efectos de la erosión, donde se pierde profundidad del suelo y con ello arcillas y materia orgánica, que son los elementos más ligeros, por lo que en suelos erosionados (Un suelo erosionado puede identificarse visualmente por la pérdida del espesor de uno o más horizontes, por la pérdida de colores oscuros que identifican el horizontes A, localizado en la parte superior del perfil, por el contenido de elementos gruesos en la superficie, como gravas y piedras, que se acumulan en ésta al ser arrastradas las partículas mas finas por las aguas de escorrentía), se incrementan los valores de la DA, que es un indicador de la calidad de los suelos y el estado de agregación, que se relaciona con la funcionalidad y es sensible a las prácticas de manejo y la productividad (FAO, 2000; Ángeles et al., 2014); además, está relacionada con el contenido en materia orgánica, humedad, compactación, profundidad y la actividad microbiana (Alvarado y Forsythe, 2005; Hossne, 2007; Henríquez et al., 2011); por lo tanto, un cambio desfavorable de esta variable puede alterar la calidad y la nomenclatura del suelo.

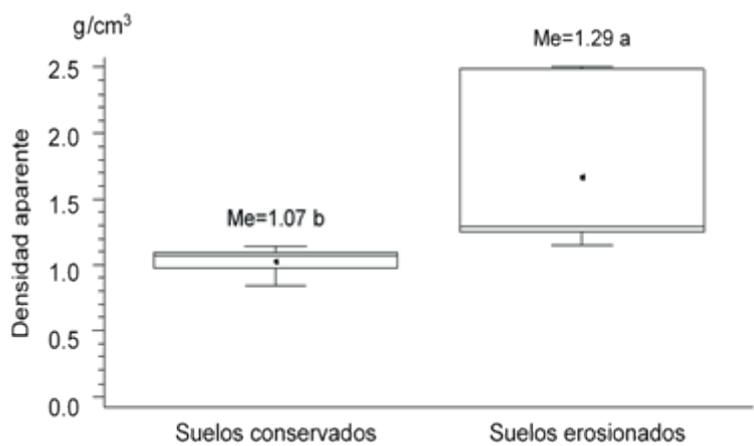


Figura 5. Gráfico de cajas y comparación de Medianas (Me) densidad aparente de suelos conservados y erosionados. Medianas identificadas con letras minúsculas diferentes indica que la diferencia observada entre ellas es estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

La textura fue arcillosa y franco-arcillosa en la capa superior de los perfiles conservados, mientras que en las muestras analizadas de la parte superficial de los perfiles erosionados la textura fue más gruesa (Loam arenoso), por efecto de la erosión selectiva de las partes más finas del suelo (Arcillas y materia orgánica); pudiendo llegar en casos extremos, a provocar la destrucción total o parcial de los horizontes, hasta llegar a la roca (Blanco y Perles, 1998). Con relación a la estructura, en los perfiles

conservados predominaron estructuras medias y pequeñas, característica de los suelos conservados y ricos en materia orgánica (FAO, 2014 a y b); sin embargo, en los erosionados apareció un horizonte C en sectores con erosión severa o rocas cuando el grado de erosión fue muy severa y ya no se observaron estructuras edáficas, debido a la pérdida total de los horizontes originales.

Propiedades químicas

Las variables químicas que se estudiaron fueron el contenido en materia orgánica (MO), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido en carbonato de calcio. En cuanto al contenido en MO, los suelos conservados presentaron un promedio de 3.1 %, que fue alto con respecto a los valores de los suelos de esta parte del estado de Puebla; mientras que para los suelos erosionados el promedio fue de sólo 0.8 % (Figura 6). Este indicador muestra la pérdida de la fertilidad inducida por el manejo inadecuado que favorece la erosión; y es un indicador de la calidad del suelo (Wilson, 2017, p. 65).

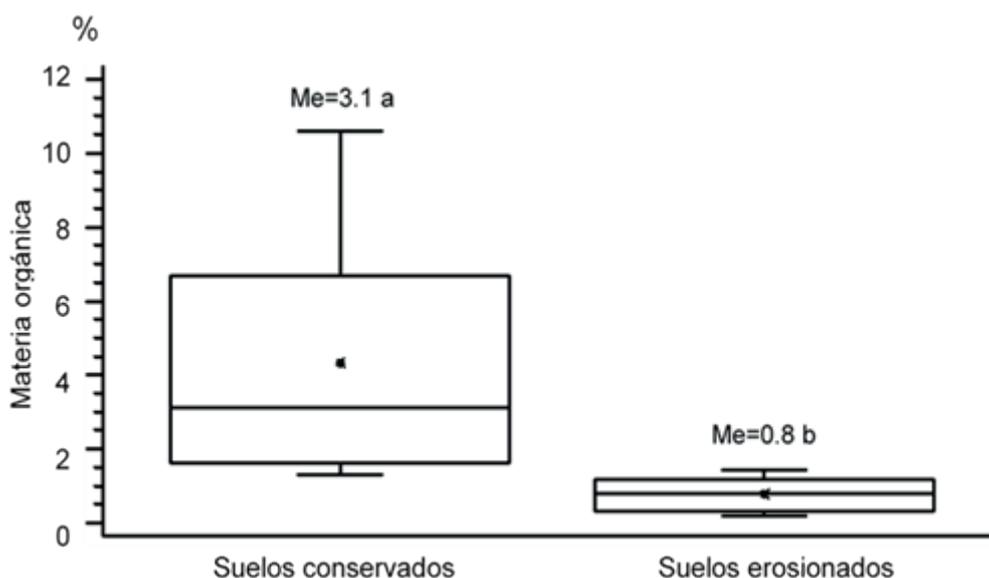


Figura 6. Gráfico de cajas y comparación de Medianas (Me) de Materia Orgánica de suelos conservados y erosionados. Medianas identificadas con letras minúsculas diferentes indica que la diferencia observada entre ellas es estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

El pH fue significativamente mayor en los suelos erosionados (Me= 7.7), con respecto a los suelos conservados donde el pH fue de 7.1 (Figura 7), que se debe a la pérdida de los horizontes A y B en los suelos erosionados, donde ha predominado la pérdida de suelo en superficie, que es donde existe un mayor lavado de las bases y la sustitución de estos horizontes edáficos por capas de rocas u horizontes C ricos en carbonatos favorecen valores más altos del pH.

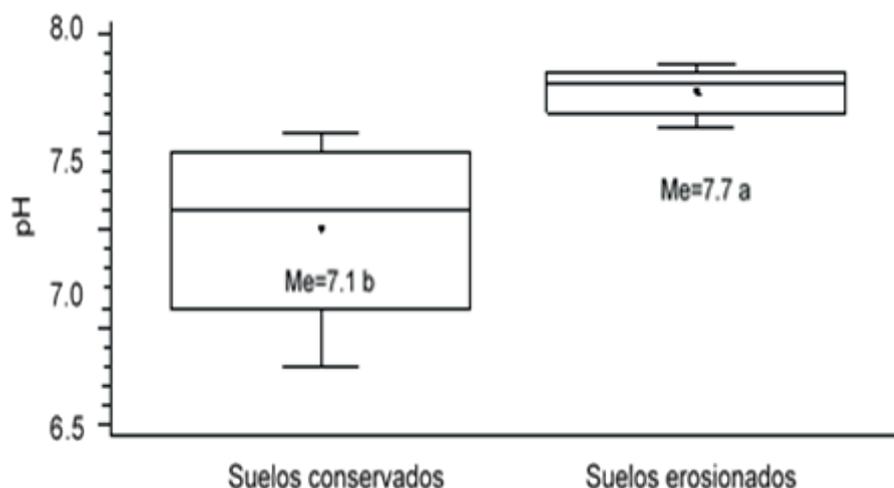


Figura 7. Gráfico de cajas y comparación de Medianas (Me) de pH de suelos conservados y erosionados. Medianas identificadas con letras minúsculas diferentes indica que la diferencia observada entre ellas es estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

De acuerdo con los datos y el análisis estadístico realizado, no se observó diferencia significativa entre la CIC de los suelos conservados y erosionados, con valores de $37.5 + 7.01$ y $33.4 + 5.0$, respectivamente (Figura 8). El valor ligeramente más bajo de la CIC en los suelos erosionados indica una disminución de la fertilidad por la pérdida de horizontes A y B.

Por otra parte, el contenido promedio de CaCO_3 en los suelos conservados fue de 1.7 %, debido al mayor lavado de las bases, mientras que en los erosionados fue de 14.1 % (Figura 9), debido a la sustitución de los horizontes superficiales por horizontes inferiores ricos en CaCO_3 , por efecto de la erosión.

El análisis estadístico mostró que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los valores medios de DA, MO, pH y CaCO_3 de los suelos estudiados, según su estado de conservación o degradación. En el caso de la CIC, no se observó diferencia estadística significativa entre los valores promedio, sin embargo, se determinó una tendencia a menor CIC en los suelos erosionados.

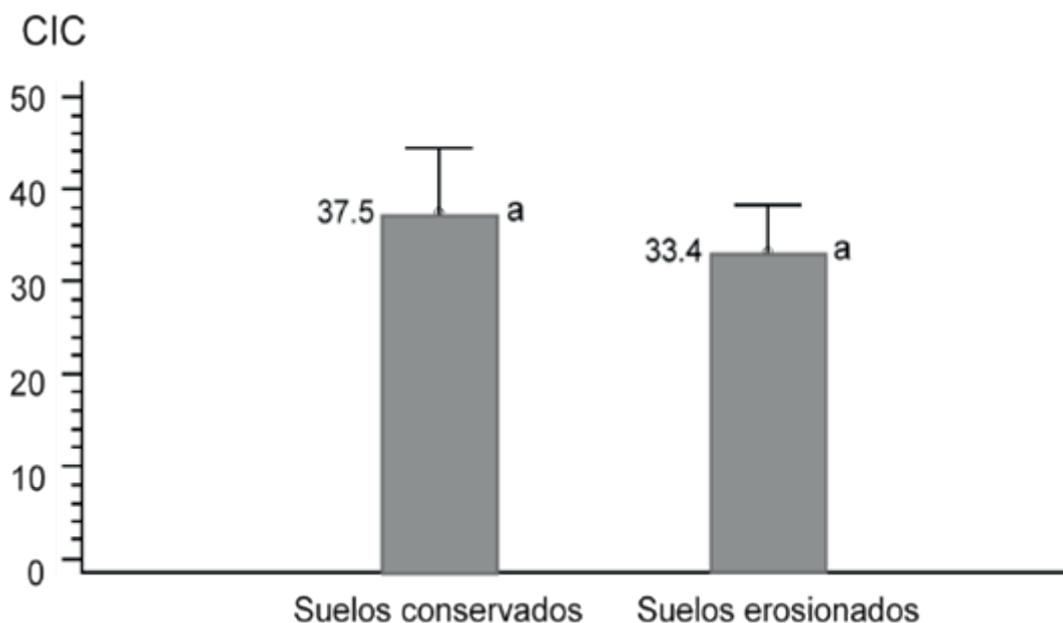


Figura 8. Gráfico de Medias de CIC de suelos conservados y erosionados. Medias identificadas con letras minúsculas iguales indica que la diferencia observada entre ellas no es estadísticamente significativa

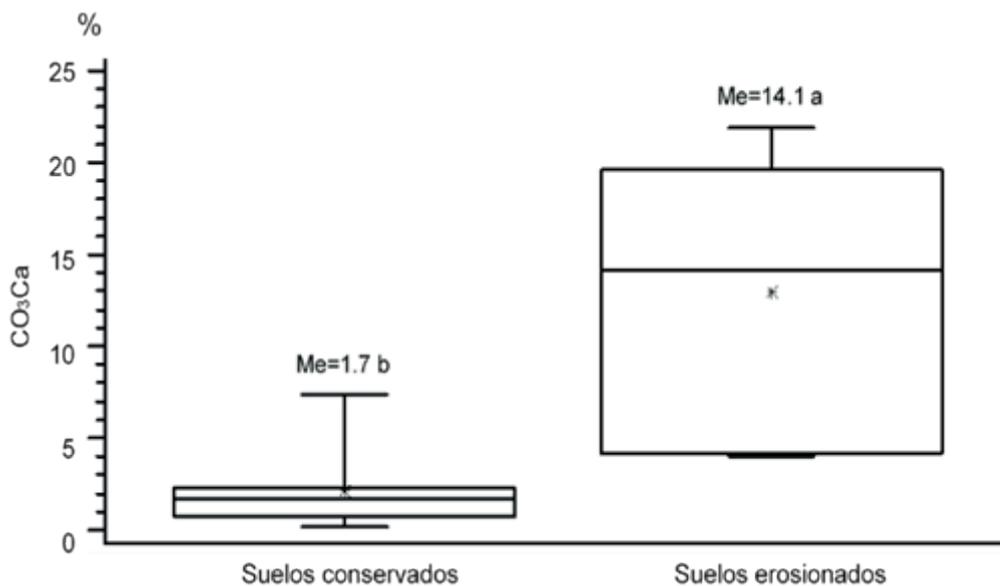


Figura 9. Gráfico de Medianas de CaCO3 de suelos conservados y erosionados. Medianas identificadas con letras minúsculas diferentes indica que la diferencia observada entre ellas es estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Los resultados muestran que los cambios provocados por el manejo inadecuado de los suelos han impactado negativamente sobre las propiedades de los suelos originales. Los cambios en el contenido de MO, el pH, la CIC y CaCO3 provocaron transformaciones importantes en las unidades de suelos originales que, junto a las ocurridas en las variables morfológicas y físicas, han transformado los suelos originales en otra categoría muy inferior como los Leptosoles, no aptos para la explotación agrícola y disminuyendo de manera significativa las funciones ambientales de los suelos.

CONCLUSIONES

Los cambios de las variables morfológicas, físicas y químicas en suelos de zonas semiáridas en un sector del sur del Estado de Puebla, provocados por la actividad humana, afecta también su estructura edáfica, transformándose en unidades secundarias incapaces de cumplir con las funciones ambientales y sociales de sus antecesores.

La morfología del perfil debe ser tomada con mayor interés para diagnosticar procesos de cambios en la estructura de la cubierta edáfica que reflejan cambios de unidades de suelos por procesos erosivos y como alerta de la desertificación.

Las variaciones de las características físicas y químicas de los suelos erosionados, con respecto a sus similares conservados, son: Disminución en el contenido de materia orgánica, aumento de CaCO_3 , disminución de la capacidad de intercambio catiónico, pérdida de las fracciones arcillosas y el incremento relativo de las fracciones arenosas en la superficie, que pueden ser utilizadas como indicadores de procesos de erosión y desertificación.

REFERENCIAS

Agostini M. A., Monterubbianesi M. G., Studdert G. A. & Maurette S. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia Suelo (Argentina)* 32(2): 171-176.

Alvarado A. y Forsythe W 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1): 85-94. ISSN: 0377-9424.

Anaya y col. 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. Tercera edición. Colegio de Postgraduado. Chapingo, México. 584 pp.

Ángeles-Agostini M., Monterubbianesi M. G., Alberto-Studdert G. & Maurette S. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Asociación Argentina Ciencias del Suelo*.

Barrera-Bassols, N. & J.A. Zinck., 2000. *Ethnopedology in a Worldwide Perspective. An annotated bibliography*. ITC Publications Vol. 77. Enschede, The Netherlands.

Bautista-Zúñiga F., Jiménez-Osornio J. Navarro-Alberto J., Manu A. y Lozano R. 2003. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra Latinoamericana*, vol. 21, núm. 1, pp. 1-11. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

Blanco-Sepúlveda R. y Perles-Roselló M. J. 1998. Degradación física de suelos como consecuencia de la erosión en laderas sometidas a distintos usos agropecuarios. *Geografía e historia*, 20, pp 21-34. ISSN 022-5099. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, E-29071 España.

Brunel N. y Seguel O. 2011. Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur* Vol. 39 (1) pp. 1-12.

Cabrera E., Rodríguez-Entrena M. y Arriza M. 2014. La influencia del manejo del suelo en la función ambiental del olivar en la opinión de expertos. Revista española de estudios agrosociales y pesqueros. N°. 288.

Cerdá A., Merche B. y Hevilla E. B. 2007. Erosión del suelo en plantaciones de cítricos en laderas. Valle del Riu Canyoles, Valencia. Revista Agroecología. Vol. 2.

Diego de la Rosa. 2008. Evaluación agroecológica de suelos. Para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 404 pp.

Domínguez-Soto J. M., Román-Gutiérrez A. D., Prieto-García F. y Acevedo-Sandoval O. 2012. Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. Rev. Mex. Cienc. Agríc. vol.3 no.1 Texcoco. Versión impresa ISSN 2007-0934.

Espinosa R. M., Andrade L. E., Rivera O. P., Romero D. A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. Papeles de Geografía. 53-54, 77-88.

FAO, 2000. Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo. Resumen. Manual on integrated soil management and conservation practices.

FAO. 2014 a. Estructura del suelo. Consultado el (28/10/2016). ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s07.htm.

FAO . 2014 b. Propiedades físicas del suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.

FAO 2000. Manual sobre prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Publicación resumida.

García E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Serie libros N° 6. Instituto de Geografía, UNAM. 90 pp.

Henríquez C., Ortiz O, Largaespada K., Portugués P., Vargas M., Villalobos P. y Gómez D. 2011. Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica. Agronomía Costarricense 35(1): 175-184. ISSN:0377-9424.

Hossne A. J. 2007. La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. Terra Latinoamericana 26: 195-202.

Hudson N.1982. Conservación del suelo. Editorial REVERTÉ, S. A. Barcelona, España. 256 pp.

INEGI. 2000. Síntesis geográfica del estado de Puebla. Anexo cartográfico. Carta estatal de climas. Escala 1: 500 000.

Montilla P., Gareis C., Juárez O. 2018. Elementos para el análisis de la sostenibilidad, a nivel de cuenca, de una fracción menor de territorio. Revista proyección. Estudios Geográfico y de ordenamiento territorial. ISSN 1852 0006. Vol. XII pp. 27-47.

Morales C. y Parada S. 2005. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales (Eds) Libro CEPAL. ISSN 92 1 322790 6.

Munsell Soil Color Charts. Revised Washable Edition. 2000.

Oficina de Información Pública. (memobpi). 2015. DESERTIFICACIÓN Y ZONAS ÁRIDAS. Documento preparado para 60° aniversario de la UNESCO.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Orsag V. 2009. Degradación de suelos en el altiplano boliviano. Causas y medidas de mitigación. Revista de Análisis. Versión impresa ISSN 1999-6233. Análisis IBEPa v.1 n.3 La Paz.

Porta, C.J., López, A.R.M., Roquero, L.C. (). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Segunda edición. Editorial Mundi-Prensa. España. Pp. 849.

Quichimbo P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., Célleri, R. (2017). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. Suelos Ecuatoriales, 42(2), 138-153.

Peralta N. 2013. Costa J. L., Castro Franco M. y Balzarini M. 2013. Delimitación de zonas de manejo con modelos de elevación digital y profundidad de suelo. Inverciencia. Vol. 38. N° 06.

Reinolds J. F., Maestre F. T., Huber-Sannwald E. Herrick y Kemp P.R. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. Ecosistemas 14:3-21.

Ruiz Careaga J., Rivero Ramos L., Castelán Vega R., Torres Trejo E., Riverol Rosquet M. y Cruz Montalvo A. 2013. Los suelos del municipio Tzicatlacoyan. Factores que provocan su degradación. En: Ciencias Ambientales. Temáticas para el desarrollo. Volumen VI. Ruiz Careaga J., Castelán Vega R., Tamariz Flores V. y Hernández M. A. (Eds) 2013. Fomento Editorial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Pp. 35-43. ISBN 978 607 487 615 4.

Ruiz Careaga J., Riverol Rosquet M., Castelán Vega R., Torres Trejo E. y Martínez Rodríguez F. 2004. Manejo y conservación de los suelos en minifundios de la Sierra Norte de Puebla. Fomento Editorial de la BUAP. ISBN 968 863 785 8. 160 pp.

Trucíos-Caciano. R., Estrada-Ávalos J., Cerano-Paredes J. y Rivera-González M. 2011. Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo. Terra Latinoamericana. Vol. 29 no.4 Chapingo. versión On-line ISSN 2395-8030. versión impresa ISSN 0187-5779.

Wilson M. G. 2017. Editor. Manual de indicadores de campo del suelo para ecoregiones de Argentina. INTA-Ediciones.