

RELACIÓN ENTRE LA COBERTURA DEL TERRENO Y LA DEGRADACIÓN FÍSICA Y BIOLÓGICA DE UN SUELO ALUVIAL EN UNA REGIÓN SEMIÁRIDA

Relationship Between Land Cover and Physical and Biological Degradation an Alluvial Soil in a Semiarid Region

Daniel Jesús Muñoz Iniestra^{1‡}, Marisol Ferreira Ramírez¹,
Ingrid Berenice Escalante Arriaga¹ y José López García²

RESUMEN

Se considera como degradación del suelo toda modificación que conduzca a la pérdida de las funciones del suelo. El nivel de degradación del suelo puede ser medido a través índices y de propiedades sensibles a cambios funcionales en los primeros 20 centímetros. El propósito del trabajo fue conocer si existe relación entre el tipo de cobertura y la degradación física y biológica del suelo. El área de estudio fue una terraza fluvial de la cuenca de Zapotitlán en el valle de Tehuacán Puebla México, donde prevalece un clima semiseco, semicálido y un suelo tipo Fluvisol calcárico. El uso del suelo es una combinación de parches de matorral espinoso, separados por claros con suelo desnudo y tapetes de costras microbióticas, y terrenos agrícolas. En ocho sitios con diferente cobertura, se tomaron tres muestras de suelo superficial, donde se midieron 17 propiedades físicas y químicas, con los datos obtenidos se calcularon los índices de degradación física y biológica para cada sitio. Los resultados obtenidos indicaron que la degradación física y biológica del suelo está significativamente relacionada con la cobertura o uso del terreno, el principal impacto sobre el funcionamiento físico del suelo se debe a la reducción del espacio poroso, pérdida de la estabilidad de los agregados, formación de costras y aumento de la densidad aparente, todo indica que la degradación física y biológica del suelo es consecuencia de la reducción de la materia orgánica.

¹ UBIPRO Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. De los Barrios núm. 1 Los Reyes Iztacala. Apartado Postal 314. 54090 Tlalnepantla, Estado de México, México.

[‡] Autor responsable (danimi@servidor.unam.mx)

² Instituto de Geografía, UNAM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. 04510 Distrito Federal, México.

Recibido: enero de 2013. Aceptado: agosto de 2013.
Publicado en Terra Latinoamericana 31: 201-210.

Palabras clave: deterioro del suelo, indicadores, uso del suelo.

SUMMARY

Any modification that leads to a loss in soil function is considered as soil degradation. The degree of degradation can be measured by indicators and soil properties that are sensitive to functional changes in the top 20 cm. This study aimed to determine whether there where a relationship between the type of soil cover and its physical and biological degradation. The study area was a fluvial terrace of the Zapotitlán basin in the Tehuacán valley, Puebla State, Mexico. The climate is semi-dry semi-hot and the soils are calcic Fluvisols. The land is a combination of thorny scrub separated by clearings of bare soil with mats of microbial crusts, it was partly used for agriculture activities. In eight sites with different coverage, three samples were taken from surface soil, which measured 17 physical and chemical properties, with data obtained indices were calculated physical and biological degradation for each site. Physical and biological degradation of the soil was significantly related with land cover and land use; the main effects on the physical functioning of the soil were reduction in porosity, loss of aggregate stability, crusts formation of and increase in bulk density, which indicates that physical and biological degradation of this soil is a consequence of a reduction in organic matter.

Index words: soil deterioration, indicators, land use.

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo afecta sustancialmente su capacidad para continuar produciendo de manera sustentable, ya que crea condiciones de estrés que impiden un desarrollo saludable de las plantas.

La degradación del suelo se refiere a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual o futura para funcionar y sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua y para preservar la salud humana (FAO/ISRIC, 2000). Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca a la pérdida de las funciones del mismo. El nivel de degradación del suelo puede ser medido a través de índices y de propiedades indicadoras sensibles a los cambios funcionales en los primeros 20 cm de suelo mineral (Sánchez *et al.*, 1997). El uso de índices para calificar la degradación del suelo es valioso, porque éstos aglutinan el efecto de varias propiedades dándole un peso específico a cada una acorde a su funcionamiento en el suelo. Los índices consideran atributos o propiedades que reflejan aspectos de la productividad o funcionalidad ambiental, también son usados para determinar si la calidad del suelo se mantiene estable o está declinando debido a un proceso de degradación (Singh y Khera, 2009).

Los índices y propiedades indicadoras tienen que estar relacionados con alguna función del suelo en el ecosistema (Herrick *et al.*, 2002), por ejemplo, la de mantener la productividad de las plantas, la conservación de la biodiversidad, almacenar y proveer recursos para los organismos; así mismo, deben de reflejar cambios que se deriven del manejo, en la medida de lo posible deben ser predictivos: tienen que reflejar cambios tempranos en los procesos ecológicos y deben de advertir de futuros cambios o tendencias en el funcionamiento del suelo. Karlen *et al.* (1997), destacan que la selección de indicadores de degradación debe hacerse pensando en las funciones que el suelo deja de realizar cuando es degradado y de los cambios en las funciones que surjan en respuesta a un estrés, natural o introducido, o a una práctica de manejo.

Se reconocen tres tipos de degradación inherentes al suelo: física, química y biológica (FAO, 2001). La física, está referida a la alteración del funcionamiento físico del suelo, que se puede manifestar por la reducción del volumen útil, disminución del espacio poroso, modificación del arreglo estructural, baja en la estabilidad de los agregados, encostramiento y sellado que impiden el intercambio de gases y agua. La degradación física impide que el suelo funcione adecuadamente, ya que afecta la capacidad de transmisión de fluidos, el volumen de almacenaje y modifica el balance adecuado de agua y gases importante para disolver los nutrientes que

necesitan las plantas y microorganismos (Topp *et al.*, 1997). La degradación química está relacionada con la contaminación, salinización, acidificación, pérdida o distribución irregular de los nutrientes del suelo, en la transformación de los residuos orgánicos que involucra procesos específicos como el reciclaje de nutrientes y la tasa de mineralización, ambos realizados por los microorganismos del suelo, así como la pérdida de carbono y alteración de la actividad microbiana.

La degradación del suelo se acentúa más en las regiones secas, donde los organismos viven en el límite de sus umbrales de sobrevivencia debido principalmente a la falta de un recurso crítico que es el agua, las regiones secas son más vulnerables que otras por su alta dependencia de las precipitaciones pluviales (Le Houérou, 2002; UN-CCD, 2005). En México, las principales causas de la degradación de los suelos son la deforestación (24%), el cambio de uso del suelo (25%), el sobrepastoreo (25%) y las prácticas agrícolas ineficientes (16%) (Ramírez -Carballo y Pedroza-Sandoval, 2007).

Las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, ubicadas en la porción meridional de la región semiárida de Tehuacán, Puebla, no han escapado al problema de la degradación del suelo, ya que se trata de una área donde la presencia e impacto de las actividades humanas es ancestral, el valle de Tehuacán es considerado como el sitio donde surge la agricultura en Mesoamérica y centro de origen del maíz. Aquí se ha reconocido la presencia de al menos seis grupos étnicos y tiene una historia de ocupación humana que data de tiempos remotos (Byers, 1967; Casas y Caballero, 1995). Especialmente en las terrazas estudiadas McAuliffe *et al.* (2001), mencionan que han estado sometidas a una fuerte presión desde hace un largo tiempo, a causa de diferentes actividades productivas como la extracción de sal y leña, el pastoreo de cabras y la agricultura. Los mismos autores proponen la hipótesis de que la erosión del suelo provocada por las prácticas agrícolas fue un factor determinante en el decaimiento de la agricultura pre-colombina en la región. En la actualidad las terrazas presentan áreas profundamente deterioradas carentes de vegetación, donde se manifiestan diferentes tipos de degradación del suelo como: erosión, encostramiento, sellado, pérdida de materia orgánica y nutrientes. Colindante a estos sitios, se encuentran manchones de matorral con dosel cerrado donde aparentemente el suelo no muestra evidencias de deterioro; así mismo, existen algunas comunidades vegetales aisladas que manifiestan

un estado de deterioro intermedio. Dentro de este mosaico también coexisten parcelas agrícolas, unas de ellas abandonadas y muy deterioradas y otras activas para cultivar maíz y frijol (Muñoz-Iniestra *et al.*, 2009). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el nivel de degradación física y biológica que tiene el suelo de una terraza fluvial bajo distintas coberturas. Con el propósito de conocer si hay relación entre el tipo de cobertura y la degradación del suelo; por otra parte se pretende identificar que propiedades del suelo son las que están más correlacionadas con la degradación física y biológica del suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

La terraza estudiada se encuentra en la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla (Figura 1), ubicada en la sierra Madre del Sur, tiene como coordenadas del punto central 18° 19' 33" N y 97° 27' 17.4" O, con una altitud absoluta

de 1444 m. El clima es de tipo $Bs_0hw''(e)g$, semiseco, semicálido, con lluvias en verano, una temperatura media anual de 21 °C, la precipitación media anual es de 420 mm (García, 2004). Está constituida por varios mantos aluviales donde se observan estratificaciones de arcilla y limo, arena muy fina, cantos rodados y gravas, el suelo es un Fluvisol calcárico, constituido de sedimentos fluviales.

La terraza seleccionada presenta una altura relativa de 17 m con respecto al cauce y un ancho medio de 465 m, con una superficie aproximada de 20 ha, de las cuales el 10% presenta una fuerte desertificación, el 90% de la superficie restante presenta una combinación de parches con suelo desnudo y sitios con vegetación de matorral espinoso (mezquital), el cual puede encontrarse desde una condición cerrada hasta muy abierto donde los arbustos están separados formando pequeñas islas de fertilidad, entre los arbustos quedan espacios abiertos de diferente tamaño donde sólo hay suelo desnudo es decir sin cobertura o bien suelo cubierto por una superficie casi continua de costras microbióticas.

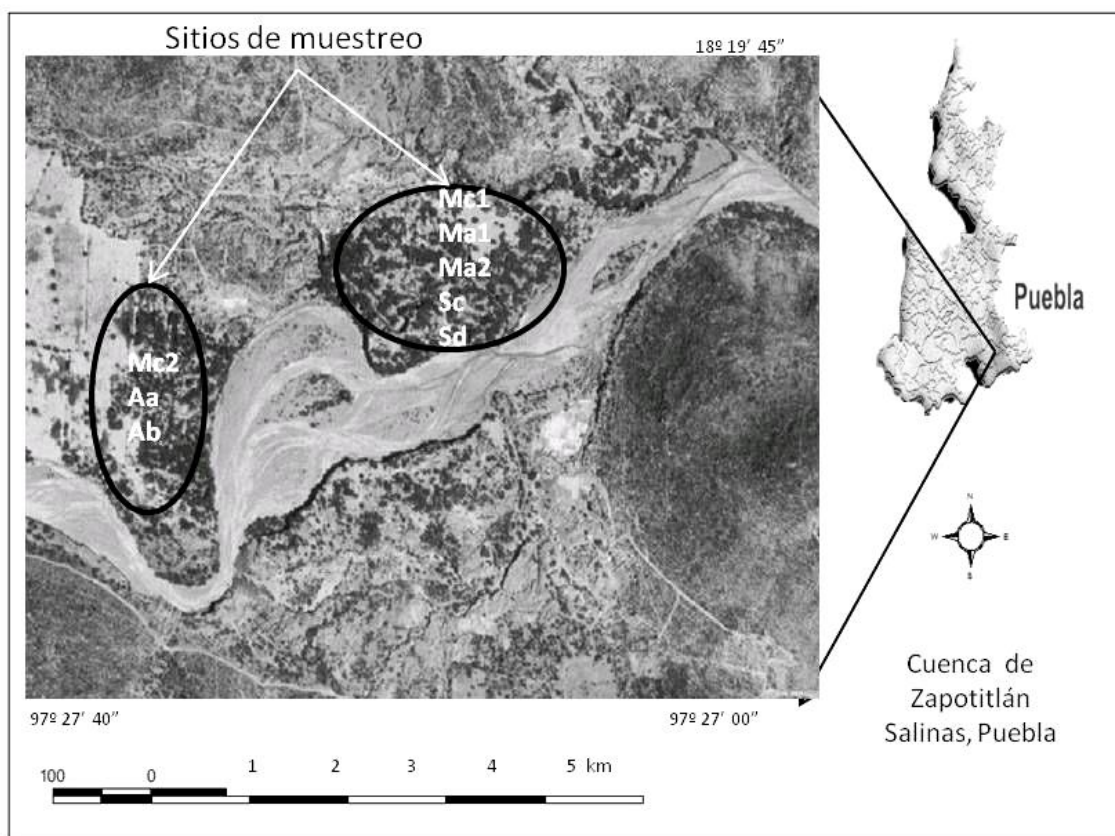


Figura 1. Localización de la terraza fluvial en Zapotitlán Salinas, Puebla. Mc1 = mezquital cerrado 1; Mc2 = mezquital cerrado 2; Ma1 = mezquital abierto 1; Ma2 = mezquital abierto 2; Aa = parcela agrícola activa; Ab = parcela agrícola en abandono Sc = suelo con costra; Sd = suelo desnudo.

También se presentan terrenos agrícolas, muchos de ellos en abandono. El suelo de esta terraza es profundo y compacto. El horizonte superficial es de color pardo grisáceo en seco (10YR 5/2), con estructura laminar y masiva en el primer horizonte, después cambia a masiva y poliédrica subangular, con textura franco limosa, pH de 7.9 y rico en carbonatos (Muñoz-Iniestra *et al.*, 2009). Para evaluar la relación entre diferentes usos del terreno o coberturas y la degradación física y biológica del suelo se escogieron dentro de la terraza distintos sitios (Cuadro 1).

En cada sitio se tomaron tres muestras de suelo superficial, siguiendo una trayectoria en zig-zag, la recolección se realizó con un barreno cilíndrico introduciéndolo hasta una profundidad de 20 cm. Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno de 2 kg debidamente etiquetadas. El análisis de las muestra en el laboratorio se enfocó a evaluar las propiedades que más influyen en el funcionamiento del suelo (Cuadro 2) y que se necesitan conocer para calcular los índices de degradación y de salinidad según los modelos propuestos por FAO, PNUMA, UNESCO (1979).

$$\text{Índice de encostramiento (CI)} = \frac{1.5 \times \% \text{FS} + 0.75 \times \% \text{CS}}{\% \text{Cy} + \% \text{MO} \times 10}$$

donde: FS = % de limo fino, CS = % de limo grueso, Cy = % de arcilla, MO = % de materia orgánica.

$$\text{Índice de degradación física (IDF)} = \frac{\text{CI}}{\% \text{SA} + (\text{FC} - \text{WP}) \times 100}$$

Cuadro 1. Ubicación de los diferentes tipos de coberturas donde se realizó la toma de muestras, (los sitios tienen una posición muy cercana unos con respecto a otros).

Cobertura o uso del suelo	Clave	Latitud	Longitud
Mezquital cerrado 1	Mc1	18° 19' 30.75"	97° 27' 16.20"
Mezquital cerrado 2	Mc2	18° 19' 21.90"	97° 27' 29.09"
Mezquital abierto 1	Ma1	18° 19' 33.85"	97° 27' 24.03"
Mezquital abierto 2	Ma2	18° 19' 31.50"	97° 27' 25.60"
Parcela agrícola activa	Aa	18° 19' 24.70"	97° 27' 32.60"
Parcela agrícola en abandono	Ab	18° 19' 24.70"	97° 27' 34.10"
Suelo con costra	Sc	18° 19' 35.55"	97° 27' 22.03"
Suelo desnudo	Sd	18° 19' 29.15"	97° 27' 24.30"

donde: CI = índice de encostramiento, SA = porcentaje de agregados estables, FC (capacidad de campo = $0.2391 - 0.0019 \times \% \text{Sn} + 0.0036 \times \% \text{Cy} + 0.0299 \times \% \text{MO}$), WP = punto de marchitamiento, Sn = porcentaje de arena.

$$\text{Índice de degradación biológica (IDB)} = \frac{1}{\text{MO}}$$

donde: MO = materia orgánica (%).

Para cada propiedad evaluada en los diferentes sitios, se obtuvo el valor promedio, la varianza y el error estándar. Con los promedios se calcularon los índices de degradación física y biológica para cada sitio. Para determinar si había diferencias significativas entre los índices de degradación y el tipo de uso de suelo o cobertura, se aplicó un análisis de varianza de un factor, se determinó el intervalo de confianza de la prueba de Tuckey con un *P* de 0.05. También se calculó el coeficiente de correlación de Pearson y el de determinación (*R*²), esto para identificar que propiedades del suelo son las que están más relacionadas con

Cuadro 2. Propiedades del suelo evaluadas y técnicas analíticas utilizadas.

Propiedad	Técnica analítica
Estabilidad de agregados	Método Yoder modificado (USDA,1999)
Densidad aparente	Método del cilindro metálico (muestra no alterada)
Densidad real	Método del picnómetro
Porosidad total	Por cálculo de las densidades
Textura	Método de Bouyoucos (1963)
Limos gruesos y finos	Método de la pipeta
Materia orgánica	Método de Walkley-Black (1947)
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo asimilable	Método de Olsen
pH	Con potenciómetro (relación suelo-agua de 1: 2.5)
CICT	Método de Schollenberger y Simon (1945)
Potasio intercambiable	Por flamometría extrayendo con acetato de amonio pH7
Conductividad eléctrica	Método propuesto por USDA (1982)
Capacidad de campo	Calculado de la ecuación de Bodman
Punto de marchitez	Calculado de la capacidad de campo

la degradación. Los datos expresados en porcentaje se normalizaron transformándolos por medio del arcoseno de la raíz cuadrada (Zar, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades del Suelo en los Diferentes Sitios

Entre los aspectos más relevantes que se pudieron observar es que los mezquiales cerrados (Mc1 y Mc2) son los que muestran mayores diferencias con respecto a los demás sitios, principalmente en: densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados, capacidad de campo, contenido de materia orgánica y nutrientes (N-P-K), en las demás propiedades no se observó una relación tan directa con los sitios (Cuadro 3). Todas las propiedades con excepción del magnesio presentan diferencias significativas entre los sitios evaluados. Los matorrales cerrados muestran una cobertura diferente a los demás sitios, ya que presentan un denso dosel que protege al suelo del impacto erosivo de la lluvia, además la superficie del suelo en estos sitios está recubierta de residuos vegetales como hojas, frutos y pequeñas ramas, lo que disipa la energía del escurrimiento superficial evitando que el suelo se pierda. Wezel *et al.* (2000), demostraron que el suelo al tener en su superficie abundante hojarasca, residuos orgánicos, tal y como ocurre en los matorrales cerrados, se reduce la erosión y por lo tanto, el desplazamiento de partículas, además de que la cantidad de agua que puede entrar en un suelo protegido por una cubierta vegetal es mayor que en un suelo desnudo. Al tener, estos sitios, más aporte de materia orgánica, presentan una mayor porosidad, son menos compactos lo que favorece el flujo e intercambio

de fluidos en el interior del suelo (Singh y Khera, 2009). Stocking y Murnaghan (2003), mencionan que la pérdida de cubierta vegetal es el primer paso del proceso de deterioro del suelo y si este no se controla a tiempo, provocará que el paisaje en su conjunto se deteriore.

Degradación Física

La menor degradación física corresponden a los mezquiales cerrados 1 y 2 (Mc1 y 2) (Figura 2), en el segundo lugar están el mezquital abierto 2 (Ma2) y la parcela con la agricultura activa (Aa), mientras que los sitios con mayor degradación física fueron la parcela agrícola abandonada (Ab) y el suelo desnudo (Sd), los demás sitios tuvieron un comportamiento intermedio.

Los valores del índice de correlación indican que las propiedades vinculadas con la degradación física del suelo en los sitios estudiados son: la porosidad (-0.945), estabilidad de los agregados (-0.880), materia orgánica (-0.864), nitrógeno (-0.823), densidad aparente (0.785) y capacidad de campo (-0.779).

De acuerdo a la escala de valoración manejada por De la Paz *et al.* (2006), los matorrales cerrados tienen una degradación física muy baja, el suelo desnudo y la parcela agrícola abandonada tienen una degradación moderada, los matorrales abiertos, la parcela agrícola activa (Aa) y el suelo con costra (Sc) se encuentran en una posición intermedia presentando menor diferencia entre sí. Según el resultado del coeficiente de correlación de Pearson la degradación física de los suelos estudiados está vinculada a la alteración de propiedades como: porosidad, densidad aparente, estabilidad de los agregados, materia orgánica, nitrógeno y capacidad de campo. La porosidad fue la propiedad que tuvo una

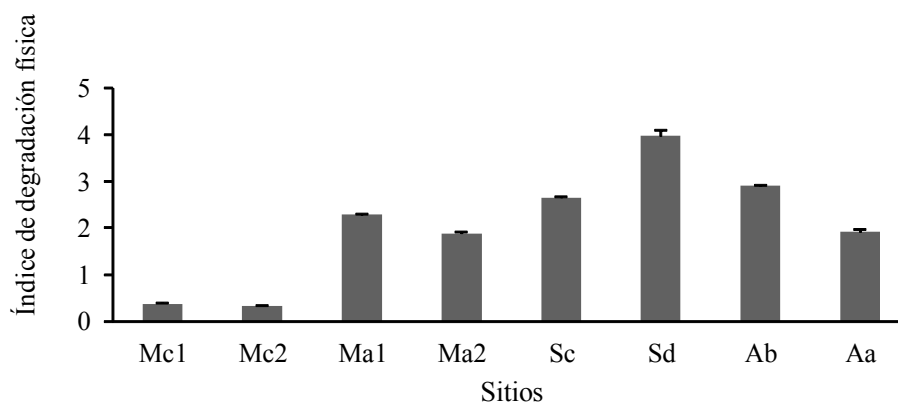


Figura 2. Variación del índice de degradación en los distintos sitios. Mc1 = matorral cerrado 1; Mc2 = matorral cerrado 2; Ma1 = matorral abierto 1; Ma2 = matorral abierto 2; Sc = suelo con costra; Sd = suelo desnudo, Ab = agricultura en abandono; Aa = agricultura activa.

Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas de los diferentes sitios muestreados.

Propiedades	Sitios							
	Mc1	Mc2	Ma1	Ma2	Sc	Sd	Am	As
Arena (%)	57.2 ± 2.00	41.2 ± 2.00	36.6 ± 3.554	47.2 ± 5.024	36.4 ± 0.938	38 ± 0.600	29.7 ± 1.500	22 ± 0.533
Limo (%)	28 ± 2.309	28.7 ± 2.081	38.8 ± 2.154	27.3 ± 1.763	33.2 ± 2.903	37 ± 1.743	42.5 ± 0.500	34 ± 0.781
Arcilla (%)	14.8 ± 1.154	30.1 ± 1.527	24.6 ± 2.080	25.5 ± 1.763	30.4 ± 2.000	25 ± 1.271	27.8 ± 1.914	44 ± 1.683
Densidad aparente (kg m ⁻³)	0.85 ± 0.006	0.88 ± 0.000	1.09 ± 0.022	1.11 ± 0.011	1.19 ± 0.014	1.15 ± 0.003	1.15 ± 0.018	1.21 ± 0.008
Densidad real (kg m ⁻³)	2.25 ± 0.0348	2.23 ± 0.029	2.40 ± 0.044	2.50 ± 0.049	2.34 ± 0.014	2.75 ± 0.078	2.63 ± 0.166	2.29 ± 0.015
Porosidad (%)	61.67 ± 1.133	60.5 ± 0.521	54.02 ± 2.902	53.9 ± 0.779	47.6 ± 0.579	42.10 ± 1.133	44.7 ± 3.020	52.7 ± 0.770
Estabilidad agregados (%)	58.2 ± 1.407	58.6 ± 0.956	31.4 ± 0.586	30.7 ± 0.698	20.8 ± 0.002	15.63 ± 1.125	24 ± 0.218	18.4 ± 1.001
Capacidad de campo (%)	44.39 ± 2.620	54.6 ± 0.624	24.1 ± 0.278	28.6 ± 0.782	32.4 ± 0.346	29.10 ± 0.510	33.8 ± 1.231	41.3 ± 0.838
Punto de marchitez permanente (%)	24.79 ± 0.656	32.30 ± 0.826	18.00 ± 0.570	17.7 ± 0.957	20.9 ± 0.189	17.01 ± 0.570	19.42 ± 0.996	27.4 ± 0.923
Materia orgánica (%)	9.66 ± 0.228	8.92 ± 0.199	1.91 ± 0.099	1.81 ± 0.134	1.37 ± 0.089	0.98 ± 0.090	1.62 ± 0.081	1.78 ± 0.115
pH 1:2.5/agua	7.8 ± 0.085	8.92 ± 0.187	7.88 ± 0.057	7.96 ± 0.064	8.22 ± 0.062	8.10 ± 0.053	7.94 ± 0.051	7.70 ± 0.130
C.I.C.T. (cmol kg ⁻¹)	34.04 ± 0.479	35.17 ± 0.554	42.88 ± 0.427	40.54 ± 0.275	19.85 ± 0.851	19.78 ± 0.198	24.20 ± 0.806	21.77 ± 1.100
Ca ⁺⁺ (kg ⁻¹ cmol)	25.26 ± 2.281	25.80 ± 1.979	16.41 ± 1.060	19.07 ± 1.280	16.98 ± 0.597	15.91 ± 0.626	20.35 ± 0.455	20.81 ± 1.074
Mg ⁺ (kg ⁻¹ cmol)	4.42 ± 0.925	1.02 ± 0.451	6.24 ± 1.214	4.34 ± 0.759	6.38 ± 1.367	5.46 ± 1.167	3.57 ± 0.426	5.05 ± 0.438
K ⁺ (kg ⁻¹ cmol)	1.11 ± 0.202	1.5 ± 0.3068	0.71 ± 0.038	0.85 ± 0.043	0.70 ± 0.149	0.50 ± 0.037	1.33 ± 0.166	1.42 ± 0.197
Nitrógeno total (%)	0.498 ± 0.036	0.543 ± 0.044	0.143 ± 0.018	0.146 ± 0.009	0.108 ± 0.007	0.099 ± 0.005	0.121 ± 0.013	0.13 ± 0.007
Fósforo asimilable (mg kg ⁻¹)	3.53 ± 0.176	2.6 ± 0.058	1.23 ± 0.067	1.03 ± 0.189	1.03 ± 0.038	1.23 ± 0.067	2.05 ± 0.103	1.68 ± 0.149

Mc1 = matorral cerrado 1; Mc2 = matorral cerrado 2; Ma 1 = matorral abierto 1; Ma2 = matorral abierto 2; Sc = suelo con costra; Sd = suelo desnudo, Ab = agricultura en abandono; Aa = agricultura activa.

mayor correlación (-0.94), el carácter negativo de esta relación indica que tiene una relación inversa con el IDF, es decir cuando este se incrementa la porosidad disminuye. La porosidad determina el volumen de espacio útil para almacenar agua, gases y para que las raíces puedan crecer y desarrollarse saludablemente, así mismo de la porosidad depende la velocidad de difusión de fluidos en el suelo (Reynolds *et al.*, 2002). La reducción del espacio poroso está vinculada con el incremento de la densidad aparente y la compactación, los cuales a su vez dependen de la cantidad de agregados estables y del contenido de materia orgánica (Shepherd *et al.*, 2001). Altos porcentajes de agregación y materia orgánica ayudan mantener una alta porosidad (Cabria *et al.*, 2002).

Estos resultados permiten plantear la hipótesis de que la degradación física del suelo en los diferentes sitios estudiados, está relacionada con la reducción del volumen del espacio poroso. Sin embargo, la porosidad es una propiedad que depende del comportamiento de otras como la textura, estructura, contenido de materia orgánica, etc. Nasr y Seles (1995), mencionan que la porosidad afecta a la emergencia principalmente por cambios en el volumen y continuidad de los poros. Los suelos con baja porosidad son suelos muy densos con fuerte empaquetamiento, esto reduce el volumen de agua que el suelo pueda almacenar, además de obstaculizar el desarrollo de las raíces (Schaetzl y Anderson, 2005).

Otra propiedad que también mostró una alta correlación inversa (-0.880) con el IDF es la estabilidad de los agregados, los matorrales cerrados 1 y 2 son los que presentaron suelos con mayor porcentaje de agregados estables, siguiéndoles los Ma1 y 2, el Sd y el sitio Aa es donde se registraron los valores más bajos. Estos resultados muestran la estrecha relación que hay entre la degradación física, la estabilidad de los agregados y el contenido de materia orgánica del suelo. La estabilidad de los agregados y su distribución por tamaño son indicadores de la susceptibilidad del suelo a la degradación (Boix-Fayos *et al.*, 2001). El contar con una estructura estable es esencial para un buen funcionamiento físico del suelo, ya que permite tener un balance adecuado de macro y microporos, lo que favorece la relación agua-aire dentro del suelo, además hace más resistente el suelo ante la erosión (USDA, 1999; Cabria *et al.*, 2002). El agrupamiento natural de las partículas primarias del suelo es el resultado de procesos físicos que forman los agregados y de procesos químicos y biológicos que los estabilizan (Allison, 1968;

Lynch y Bragg, 1985). No obstante que las arcillas, el carbonato de calcio y los sesquióxidos participan en la agregación, el principal agente de unión es la materia orgánica (Koorevaar *et al.*, 1983). Los agregados del suelo son producto de la comunidad microbial del suelo, de los componentes orgánicos y minerales, de la naturaleza de la comunidad de plantas en la superficie y de la historia del ecosistema. Son importantes con relación al movimiento y almacenaje de agua en el suelo, resistencia a la erosión, desarrollo radicular y actividad de la comunidad microbial (USDA, 1999).

Índice de Degradación Biológica (IDB)

Al analizar los resultados se apreciaron la formación de cuatro clases o grupos, el primero es el que presentó menor IDB y corresponde a los mezquiales cerrados, el segundo lo forman los mezquiales abiertos y el último el suelo desnudo, los demás sitios ocupan una posición intermedia. Entre menos cobertura vegetal o materia orgánica tenga el suelo, mayor es el IDB (Figura 3). El incremento en el índice refleja una tasa elevada de mineralización, lo que implica una baja acumulación de materiales orgánicos, afectando con esto la calidad y fertilidad del suelo (De la Paz *et al.*, 2006)

El IDB del suelo está inversamente relacionado con algunas propiedades como la estabilidad de agregados, porosidad, materia orgánica, nitrógeno y fósforo, y directamente vinculado con la densidad aparente (Cuadro 4).

El índice de degradación biológica (IDB), presentó un comportamiento similar al de degradación física, los sitios con menor contenido de materia orgánica en el suelo, son los que presentaron una mayor degradación biológica y viceversa. La materia orgánica es una de las propiedades con mayor vinculación con el IDB, los resultados obtenidos muestran una fuerte correlación inversa entre los niveles de materia orgánica y el IDB (-0.891), observándose que a medida que decrece la materia orgánica se incrementa la degradación biológica. Los sitios con mayor cobertura vegetal, como los matorrales cerrados, son los que tienen los mayores contenidos de materia orgánica en el suelo (Cuadro 3) y también son los que tienen menor degradación biológica (Figura 3), en cambio, los suelos desnudos y con costra fueron los que tuvieron menos carbono y mayor degradación. Esto refuerza el hecho de que una de las mejores prácticas que se pueden hacer para evitar la degradación del suelo es mantener sus niveles de

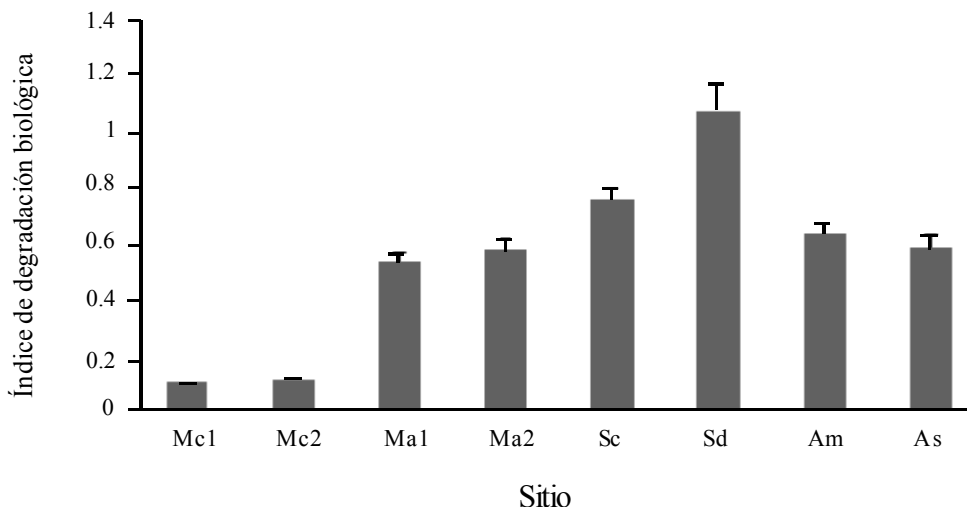


Figura 3. Índice de degradación biológica de los diferentes sitios muestreados. Mc1 = matorral cerrado 1; Mc2 = matorral cerrado 2; Ma1 = matorral abierto 1; Ma2 = matorral abierto 2; Sc = suelo con costra; Sd = suelo desnudo, Ab = agricultura en abandono; Aa = agricultura activa.

carbono orgánico. La materia orgánica aumenta el espacio poroso, por lo tanto reduce la densidad aparente haciendo que el suelo sea menos compacto, además por su elevada capacidad de absorción aumenta la reserva de agua (Riginos y Herrick, 2010). Lal *et al.* (1999), indican que la calidad y fertilidad del suelo depende mucho del contenido de materia orgánica, una buena parte del carbono del suelo proviene de la contribución que hacen las raíces, sin embargo esta decrece cuando se reduce la cobertura vegetal o se intensifica el uso de suelo.

El tener un IDB con valores altos indica una fuerte mineralización de la materia orgánica, bajas reservas de carbono, baja actividad microbiológica y en consecuencia fallas funcionales en el reciclaje de nutrientes (Karlen,

1997). Los suelos protegidos por una cobertura vegetal densa mantienen un equilibrio natural entre las ganancias y pérdidas de residuos orgánicos, sin embargo cuando la cobertura vegetal es eliminada o reducida, el suelo recibe menos aportes de residuos orgánicos a la vez que se produce una rápida mineralización del humus, favorecida por el laboreo y altas temperaturas. Se inicia así un proceso de disminución progresiva del contenido de materia orgánica del suelo que provoca un rápido deterioro de su fertilidad y estructura, con lo cual disminuye la infiltración y aumenta la escorrentía incentivándose los procesos erosivos (Colomer y Sánchez, 2001).

La eliminación de la vegetación deja a la superficie del suelo expuesta a los agentes erosivos, además de

Cuadro 4. Correlación entre el índice de degradación biológica y las propiedades del suelo.

Propiedad	Índice de correlación	R ²	P
Arena	-0.480464224	0.230845870	0.769
Limo	0.565010749	0.319237146	0.144
Arcilla	0.252430683	0.063721250	0.704
Densidad A.	0.850242942	0.722913061	0.007
Porosidad	-0.937441487	0.878796542	0.001
Estabilidad de agregados	-0.923896267	0.853584312	0.001
Capa campo	-0.728989499	0.531425690	0.040
Materia orgánica	-0.891623318	0.794992142	0.003
Nitrógeno total	-0.853568545	0.728579260	0.007
Potasio intercambiable	-0.686407793	0.471155658	0.019
Fósforo asimilable ppm	-0.792967222	0.628797015	0.060

favorecer la desintegración de los agregados favorece el encostramiento de la superficie, esto trae serias repercusiones funcionales, ya que se reduce la infiltración afectando las reservas de agua del suelo (Dregne, 2002; Dexter *et al.*, 2008). Por otra parte la labranza continua contribuye a acelerar la mineralización de la materia orgánica, esto como resultado del incremento de la aireación a causa del rompimiento de los agregados quienes protegen a los residuos orgánicos del ataque microbiano (Zornoza *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran una significativa relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica del suelo, encontrando que entre más densa es la cobertura del suelo y mayor el contenido de materia orgánica, la degradación física y biológica del suelo será menor. Las propiedades que mostraron una mayor relación con la degradación de los suelos estudiados fueron la porosidad, estabilidad de los agregados y la materia orgánica, por lo que se recomienda que para recuperar los suelos degradados y conservar los que aún no lo están, se realicen prácticas tendientes a mejorar la porosidad y estabilidad de los agregados, lo cual se puede lograr, manteniendo un nivel óptimo de materia orgánica en el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al programa de apoyo a proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPITT), de la UNAM por el financiamiento del proyecto (IN211410). También queremos agradecer al Dr. Héctor Octavio Godínez Álvarez, por la asesoría en el tratamiento estadístico de los datos.

LITERATURA CITADA

- Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A. C. Imeson, and M. D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.
- Byers, D. S. 1967. The prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and subsistence. Published for the Robert S. Peabody Foundation, Phillips Academy, Andover, University of Texas. Austin, TX, USA.
- Cabria, F., M. Calandroni y Monterubbiansi. 2002. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. *Cienc. Suelo* 20: 69-80.
- Casas, A. y J. Caballero. 1995. Domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Ciencias* 40: 36-45.
- Colomer, J. C. y J. Sánchez D. 2001. Agricultura y procesos de degradación del suelo. pp. 109-132. *In*: F. M. de Santa Olalla M. (ed.). Agricultura y desertificación. Mundi-Prensa. España.
- De Paz, J. M., J. Sánchez, and F. Visconti. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in Spanish Mediterranean Region. *J. Environ. Manage.* 79: 150-162.
- Dexter, A. R., G. Richard, D. Arrouays, E. A. Czyz, C. Jolivet, and O. Duval. 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma* 144: 620-627.
- Dregne, H. E. 2002. Land degradation in the drylands. *Arid Land Res. Manage.* 16: 99 -132.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1979. A provisional methodology for soil degradation assessment. FAO. Rome, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. Guidelines for qualitative assessment of land resources and degradation. FAO. Rome, Italy.
- FAO/ISRIC (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Soil Reference and Information Centre). 2000. Soil and terrain database, Land degradation status and soil vulnerability assessment for central and eastern Europe. FAO, Land and Water Digital Media Series n°10. Rome, Italy.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Herrick, J. E., J. R. Brown, A. J. Tugel, P. L. Shaver, and K. M. Havstad. 2002 Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology. *Agron. J.* 94: 3-11.
- Karlen, D. L., M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. G. Cline, R. F. Harris, and G. E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 61: 4-10.
- Koorevaar, P., G. Menelik, and C. Dirksen. 1983. Elements of soil physics. *Developments in soil science* 13. Elsevier. New York, NY, USA.
- Lal, R., D. Mokma, and B. Lowery. 1999. Relation between soil quality and erosion. pp. 237-258. *In*: R. Lal (ed.). Soil quality and soil erosion. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, IO, USA.
- Le Houérou, H. N. 2002. Man-made deserts: Desertization processes and threats. *Arid Land Res. Manage.* 16: 1-36.
- Lynch, J. M. and E. Bragg. 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Adv. Soil Sci.* 2: 133-171.
- McAuliffe, J. R., P. C. Sundt, A. Valiente-Banuet, A. Casas, and J. L. Viveros. 2001. Pre-columbian soil erosion, persistent ecological changes, and collapse of a subsistence agricultural economy in the semi arid Tehuacan valley, Mexico's Cradle of maize. *J. Arid Environ.* 47: 47-75.
- Muñoz-Iniestra, D., F. G. López, M. M. Hernández, A. A. Soler y G. J. López. 2009. Impacto de la pérdida de la vegetación en las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana* 27: 237-246.
- Nars, H. M. and F. Seles. 1995. Seedling emergence as influence by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil Tillage Res.* 34: 61-76.

- Ramírez- Carballo, H. y A. Pedroza-Sandoval. 2007. Evaluación participativa de la degradación del suelo en la reserva de la biosfera de Mapimi, Durango, México. *Rev. Chapingo serie Zonas Áridas* 6: 247-254.
- Reynolds, W. D., B. T. Bowman, C. F. Drury, C. S. Tan, and X. Lu. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- Riginos, C. and J. Herrick. 2010. Monitoring rangeland health: A guide for pastoralist communities and other land managers in eastern Africa Version II. ELMT-USAID/East Africa. Nairobi, Kenya.
- Sánchez, J., R. Boluda, C. Morell, J. C. Colomer, A. Artiago, and J. I. Tébar. 1997. Assessment of soil degradation in desertification threatened areas: A case study in Castilla-La Mancha (Spain). *In: F. M. de Santa Olalla M. (ed.). EFEDA-II Subgrup II: vegetation, soil physics, inventory and impacts. Final report: Desertification processes in the mediterranean area and their interlinks with the global climate. Toledo, Spain.*
- Schaetzl, R. J. and S. Anderson. 2005. *Soils: Genesis and geomorphology.* Cambridge University Press. UK.
- Shepherd, T. G., S. Saggar, R. H. Newman, C. W. Ross, and J. L. Dando. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.* 39: 465-489.
- Singh, M. J. and K. L. Khera. 2009. Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses. *Arid Land Res. Manage.* 23: 152-167.
- Stocking, M. y N. Murnaghan. 2003. *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra.* Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Topp G. C., W. D. Reynolds, F. J. Cook, J. M. Kirby, M. R. Carter. Physical attributes of soil quality. pp. 21-58. *In: E. G. Gregorich and M. R. Carter (eds.). Soil quality for crop production and ecosystem health. Developments in Soil Science Vol. 25.* Elsevier Science. New York, NY, USA.
- UN-CCD (Convención de las Naciones Unidas para el Combate de la Desertificación). 2005. Evaluación de la degradación de tierras en zonas secas. PNUMA Conferencia de las partes Comité de Ciencia y Tecnología Séptimo período de sesiones. Nairobi, Kenya.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1999. *Soil quality test kit guide.* United States Department of Agriculture, Agricultural Research Services, Natural Resources Conservation Service, Soil Quality Institute. Washington, DC, USA.
- Wezel, A., J. L. Rajot, and C. Herbrig. 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agroecosystems in semi-arid Niger. *J. Arid Environ.* 44: 383-398.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis.* Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Zornoza, R., J. Mataix-Solera, C. Guerrero, V. Arcenegui, and J. Mataix-Beneyto. 2009. Comparison of soil physical, chemical, and biochemical properties among native forest, maintained and abandoned almond orchards in mountainous areas of eastern Spain. *Arid Land Res. Manage.* 23: 267-282.