



## IMPACT OF LAND USE ON SOIL QUALITY IN A SEMI-ARID ZONE OF THE MEZQUITAL VALLEY, HIDALGO, MEXICO

### IMPACTO DEL USO DE LA TIERRA EN LA CALIDAD DEL SUELO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA DEL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO, MÉXICO

Denisse Esmeralda Hernández-González<sup>1,1</sup>, Daniel Jesús Muñoz-Iniestra<sup>1,2</sup>✉, Francisco López-Galindo<sup>1,3</sup> y Mayra Mónica Hernández-Moreno<sup>1,4</sup>

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. UBIPRO. Av. de los Barrios No.1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, México.

<sup>1,1</sup> [tzipili.tilapia@gmail.com](mailto:tzipili.tilapia@gmail.com), <sup>1,2</sup>✉ [danimi@unam.mx](mailto:danimi@unam.mx), <sup>1,3</sup> [Lopezgf@unam.mx](mailto:Lopezgf@unam.mx),  
<sup>1,4</sup> [mmhmoreno@yahoo.com.mx](mailto:mmhmoreno@yahoo.com.mx)

#### ABSTRACT

The change in land use usually involves ecological and environmental damage, within them is notable for its magnitude soil degradation, which causes the quality of the soil to be diminished affecting the processes and functions that the soil does. This study aimed to determine the impact of different vegetation cover and land use on soil quality in a locality of the Mezquital Valley in Hidalgo State, where five sites with different cover were selected within the same geomorphological unit, three samples were taken from surface soil, where 10 properties were measured; with data obtained two soil quality indexes were calculated. The results obtained show a similar tendency for all the sites in the two models used. The soil of the grassland was where the highest value of quality was obtained followed by the agricultural plot, while the bare soil and broad scrub were where the quality of the soil was lower. The properties most related to soil quality were: organic matter, total nitrogen, infiltration, aggregate stability, electrical conductivity and exchange sodium percentage.

**Key Words:** agriculture land, indexes, semiarid zones, soil quality.

## RESUMEN

El cambio en el uso de la tierra por lo general implica daños ecológicos y ambientales, dentro de los que destaca por su magnitud la degradación del suelo, lo que hace que la calidad del suelo disminuya afectando con esto los procesos y funciones que el suelo hace. El objetivo del estudio fue determinar el impacto de diferentes cubiertas y usos de la tierra sobre la calidad del suelo en una localidad del Valle Mezquital, en el Estado de Hidalgo, donde se seleccionaron cinco sitios con diferente cobertura dentro de la misma unidad geomorfológica. Se tomaron tres muestras de suelo superficial donde se midieron 10 propiedades. Con los datos obtenidos se calcularon dos índices de calidad del suelo. Los resultados obtenidos muestran una tendencia similar para todos los sitios en los dos modelos utilizados. El suelo de la pradera fue donde se obtuvo el mayor valor de calidad seguido por la parcela agrícola, mientras que el suelo desnudo y el matorral abierto fueron los de menor calidad. Las propiedades más vinculadas con la calidad de los suelos fueron: materia orgánica, nitrógeno total, infiltración, estabilidad de agregados, conductividad eléctrica y sodio intercambiable.

**Palabras clave:** calidad del suelo, índices, tierras agrícolas, zonas semiáridas.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos siglos prácticamente la mitad del territorio nacional ha sido modificada de forma acelerada debido a cambios en el uso del suelo, normalmente estos cambios implican necesariamente la pérdida de la cobertura vegetal para dar paso a un paisaje antropizado, los matorrales de las regiones secas constituyen uno de los tipos de vegetación más afectados por las actividades humanas, se estima que 0.89% de superficie mundial ocupada por este tipo de vegetación se pierde cada año (FAO/ISRIC, 2000). En México este proceso de remplazo por lo general se ha dado de anárquica manera no programada impulsado principalmente por eventos e intereses de naturaleza histórica, política y/o socioeconómica, sin tomar en cuenta las características ecológicas y ambientales de las distintas regiones. Al transcurrir el tiempo esta dinámica de cambio ha provocado un fuerte deterioro ambiental, pérdida de biodiversidad, abandono de tierras de cultivo y la destrucción de muchos ecosistemas de las zonas áridas y semiáridas del país (SEMARNAT, 2002).

Entre los daños ecológicos y ambientales más fuertes provocados por este fenómeno de remplazo de la cobertura vegetal, destaca por su magnitud y consecuencias la degradación del suelo la cual si no es atendida debidamente puede marcar el inicio de un daño más generalizado y devastador denominado desertificación (Dregne, 2002; Le Houérou, 2002), la desertificación es el resultado de la combinación del efecto del cambio climático y del mal manejo que el hombre hace de la tierra (NU-CLD, 2005).

Entre los principales agentes promotores de la degradación de los suelos de las zonas áridas y semiáridas de México están el sobrepastoreo, el cambio de uso del suelo, la deforestación, la labranza poscosecha y el mal manejo del suelo agrícola (SEMARNAT, 2002). La degradación del suelo afecta las funciones esenciales que el suelo realiza en los ecosistemas, por lo que la calidad natural de los suelos se ve fuertemente disminuida a tal grado que con el paso del tiempo, sitios que en algún momento fueron productivos se convierten en tierras estériles y desoladas, provocando con esto un fuerte impacto en la población humana (FAO, 2003).

Por otra parte el concepto de calidad de los suelos fue desarrollado en respuesta a la demanda pública de dar un mayor énfasis al manejo sustentable del suelo y para que la comunidad

científica reconozca que el manejo del suelo puede mejorarse si se utiliza un enfoque holístico e integrativo (USDA, 1999; Arshad y Martin, 2002; Herrick et al., 2002). La Soil Science Society of America (1997), citado por Herrick (2000), definió la calidad del suelo como la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas naturales o artificiales, para sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y apoyar la salud y la vivienda. La calidad de suelo ha sido propuesta como un indicador integrativo de calidad ambiental, seguridad alimentaria y viabilidad económica. Por tal razón se manifiesta como un indicador ideal del manejo sustentable de la tierra (Herrick, 2000; Schoenholtz et al., 2000).

Para evaluar la calidad del suelo se han empleado índices contruidos a partir de indicadores que están relacionados con propiedades que controlan las funciones naturales que el suelo realiza (Astier et al., 2002; Campitelli et al., 2010), en este sentido para valorar el funcionamiento físico se escogen propiedades que tienen que ver con la retención y disponibilidad de agua para los organismos incluyendo principalmente a las plantas, también aquellas propiedades que tiene que ver con el crecimiento de las raíces, la emergencia de plántulas, la infiltración, el movimiento de agua dentro del perfil y las involucradas en el intercambio gaseoso (USDA, 1999; Andrews et al., 2002; Cantú et al., 2007; Gugino et al., 2009).

Por otra parte el Valle del Mezquital localizado región semiárida del estado de Hidalgo representa un excelente ejemplo donde la introducción de un sistema de riego para la agricultura desde hace más de 100 años, ha provocado un cambio casi total del paisaje en su conjunto, aquí la extensión cubierta vegetal original ha sido reducida considerablemente relegándose a sitios que por su relieve o tipo de suelo no son aptos para la agricultura. En la actualidad el paisaje del Valle del Mezquital está constituido por un mosaico donde el uso dominante es una extensa red de parcelas agrícolas tanto de riego como de temporal que se alternan con asentamientos humanas y pequeños parches de vegetación, autores como Guadarrama-Brito y Galván (2015) y IDRC-OPS/HEP/CEPIS (2002); indican que para el Valle del Mezquital el cambio de uso de suelo, el uso de aguas residuales, prácticas de manejo agrícola inadecuadas han impactado considerablemente la calidad de los suelos, afectando con esto la productividad de la tierra debido a problemas de compactación, salinización y contaminación.

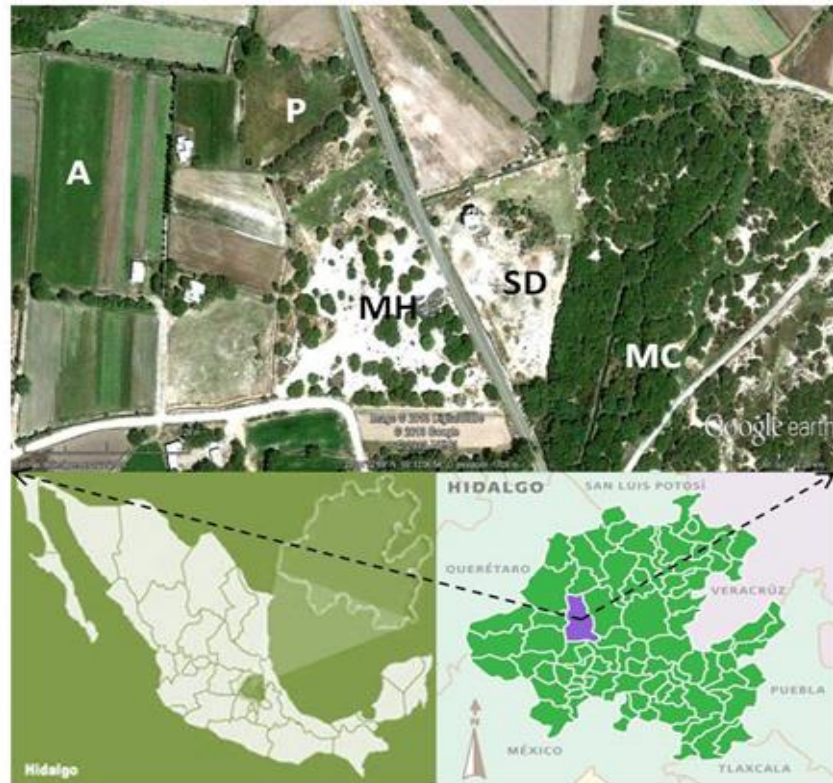
En este sentido el propósito de la presente investigación es comparar dos modelos para evaluar el impacto que tienen diferentes coberturas vegetales y usos de la tierra sobre la calidad de los suelos en una en la localidad del Durazno en el Valle del Mezquital, región semiárida, estado de Hidalgo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

La zona de estudio se encuentra en el Valle del Mezquital dentro del municipio de Ixmiquilpan en la localidad denominada el Durazno (Fig.1), el clima es de tipo  $BS_0 hw'' (W) (e) g$ , que corresponde a un clima semiseco estepario con temperaturas mayores a los  $18^{\circ}C$ , la precipitación anual fluctúa entre 400 y 450 mm con lluvias en verano. La litología está compuesta de conglomerados y toba andesítica que pertenecen a la Formación Tarango del Neógeno (SGM, 2001). La forma del relieve dominante corresponde a lomeríos y colinas de pendiente suave que desciende en dirección norte sur, también hay presencia de algunas elevaciones aisladas. Los suelos del lugar son jóvenes y poco desarrollados, los tipos dominantes son el Regosol y Feozem aunque también se pueden encontrar Fluvisoles, todos de carácter calcáreo, pobres en materia orgánica, texturas medias de reacción básica (INEGI, 2004). La vegetación natural sólo se presenta a manera de parches discontinuos, son principalmente matorrales espinosos, crasicuales que se desarrollan

en los sitios más pedregosos, de pequeñas elevaciones. En las parcelas abandonadas se presenta vegetación de tipo secundario constituida por diferentes especies de herbáceas donde destacan por su abundancia las gramíneas y compuestas, también se ha desarrollado vegetación halófila, estos sitios fueron en el pasado reciente parcelas agrícolas productivas, pero se abandonaron por el incremento de la salinidad provocado por el uso de aguas residuales en el riego el cuál se introdujo hace aproximadamente 25 años (Muñoz y López, 1997).



MC= mezquital cerrado, MH= mezquital abierto-pastizal halófito,  
SD= suelo desnudo, A= parcela agrícola, P= pastizal.  
Coordenada del punto central 20°31'22.7'' N y 99°13'10.6'' O

Fig. 1. Área de estudio. Localidad el Durazno Ixmiquilpan, Hidalgo.

### Muestreo

El área de estudio donde se realizó la investigación es una unidad geomorfológica que corresponde a una planicie inclinada con lomeríos, es un área homogénea en cuanto a clima relieve, litología y tipo de suelo, ahí se seleccionaron cinco diferentes coberturas: matorral cerrado de mezquite (MC), pastizal inducido (P), matorral abierto alternado con vegetación halófila (MH), suelo desnudo (SD) y un campo de cultivo (A), las cuales son representativas del uso del suelo de la localidad (Fig. 1 y Tabla 1). La superficie de las coberturas es variable ya que fluctúan entre media y una hectárea aproximadamente.

Tabla 1. Coberturas seleccionadas en la localidad del Durazno, municipio de Ixmiquilpan.

Sitio	Código	Latitud	Longitud	Altitud (metros)
Mezquital cerrado	MC	20°31'20.3"	99°13'7.1"	1721
Mezquital abierto con pasto halófito	MH	20°31'23.5"	99°13'8.5"	1717
Suelo desnudo	SD	20°31'22.1"	99°13'8.6"	1712
Parcela agrícola	A	20°31'22.7"	99°13'10.7"	1721
Pastizal inducido	P	20°31'23.7"	99°13'9.1"	1725

En cada una de las coberturas se eligieron tres sitios al azar y se levantó una muestra de suelo introduciendo un barreno cilíndrico metálico verticalmente hasta una profundidad de 20 cm. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas y se trasladaron al laboratorio de Edafología en la FES Iztacala, UNAM para su análisis. Las propiedades que se analizaron se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades y técnicas analíticas analizadas en el laboratorio.

Propiedad	Técnica analítica	Referencia bibliográfica
Estabilidad de agregados	Método Yoder (1936)	USDA, 1999
Materia orgánica	Método de Walkley-Black (1947)	Muñoz et al., (2013)
pH	Con potenciómetro (relación suelo-agua de 1: 2.5)	Muñoz et al., (2013)
Saturación de bases	Calculado por la sumatoria de las bases	
CICT	Método de Schollenberger y Simon (1945)	Robertson et al., (1999)
Sodio intercambiable:	Con espectrofotómetro de emisión de flama.	Robertson et al., (1999)
Espesor de suelo útil	Medido directamente en campo con un penetrómetro de punta cónica	Gugino et al., (2009)
Conductividad eléctrica	Método propuesto por midiendo con puente de conductividad Wheatstone	USDA, 1984
Infiltración	Por el método del anillo sencillo	USDA, 1999
Nitrógeno Total	Método Kjeldhal (Bremner)	Muñoz et al., (2013)

Los resultados se ordenaron en una base de datos y se obtuvieron los promedios, la desviación y el error estándar. Para conocer si se presentaban diferencias significativas en los diferentes sitios se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor y la prueba de comparación de medias de Tukey, antes de aplicar la prueba se verificó que los datos cumplieran del supuesto de normalidad, cuando no fue así se normalizaron transformándolos a una función de arcoseno (Zar, 1999).

Los índices de calidad del suelo se calcularon siguiendo los modelos propuestos por Andrews et al., (2002) y Cantú et al., (2007). En el modelo de Andrews et al., (2002) las propiedades evaluadas del suelo se clasificaron en dos categorías, la primera es denominada "Mayor es mejor" donde se agrupan aquellas propiedades donde lo más conveniente para el funcionamiento y calidad del suelo que esas propiedades tengan un valor alto, en la segunda categoría nominada "Menor es mejor" se incluyen propiedades donde lo que conviene es que presenten un valor bajo, como es el caso de la salinidad. El paso siguiente fue estandarizar el valor real de las propiedades

ya que estas presentan diferentes unidades y escalas de medición, para esto se estableció una escala uniforme que va de 0 a 1. Para estandarizar las propiedades de la categoría “Mayor es mejor”, cada valor individual fue dividido entre el valor más alto obtenido, de tal manera que el valor del índice más alto obtenido es 1. Para las propiedades consideradas como “Menor es mejor”, el valor más bajo obtenido (numerador) se divide entre cada observación (denominador) de tal modo que el valor más bajo recibió obtendría el puntaje de 1.

Para el modelo de Cantú et al., (2007) se tomaron los valores promedio, máximo y mínimo de las propiedades evaluadas las cuales se agruparon también en dos categorías, en la primera se colocaron aquellas propiedades en donde lo más favorable para la calidad de suelo es que dichas propiedades tengan un valor alto (ejemplo materia orgánica, espesor de suelo, etc.), las cuales fueron normalizadas para establecer una escala única de medición que va de 0 a 1. El valor normalizado (Vn) se obtuvo a través de la siguiente ecuación:  $Vn = \frac{Im - Imin}{Imax - Imin}$ , donde Im es el valor promedio de la propiedad en cuestión, Imin es el valor mínimo y Imax el máximo. En la segunda categoría se incluyeron aquellas propiedades en donde lo que más conviene para la calidad del suelo es que tengan un valor bajo (ejemplo conductividad eléctrica, sodio intercambiable, etc.), en estos casos la normalización se realizó aplicando la siguiente ecuación:  $Vn = 1 - \frac{Im - Imin}{Imax - Imin}$ . Donde Vn= valor normalizado, Im= medida del indicador, Imax= valor máximo del indicador, Imin= valor mínimo del indicador. Finalmente se estableció un índice de calidad de suelos ICS promediando los valores normalizados de todos los indicadores. Para la interpretación del ICS se utilizó una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo propuesta por Cantú et al., (2007) (Tabla 3).

Tabla 3. Clases de calidad de suelos.

Índice de calidad del suelo	Escala	Clases
Muy alta calidad	0.80-1.00	1
Alta calidad	0.60-0.79	2
Moderada calidad	0.40-0.59	3
Baja calidad	0.20-0.39	4
Muy baja calidad	0.00-0.19	5

Por último se aplicó un análisis de correlación de Pearson, entre las propiedades evaluadas y los (ICS) para identificar aquellas propiedades que tienen más relación con la calidad del suelo.

## RESULTADOS

### Índices de calidad del suelo

Los resultados obtenidos en los dos modelos utilizados para evaluar la calidad del suelo (Cantú et al., 2007 y Andrews et al., 2002) se presentan en las Tablas 4 y 5 respectivamente, donde se muestran los valores normalizados de cada propiedad utilizada y el índice de calidad correspondiente para cada sitio. En la Figura 2 se presentan de manera gráfica los resultados de los ICS en los dos modelos utilizados, donde se puede apreciar coincidencias en la tendencia del ICS para los distintos sitios y al mismo tiempo diferencias entre las magnitudes de los índices en cada sitio.

Tabla 4. Valores normalizados por cada propiedad e índices de calidad de suelo obtenidos de la ecuación de Cantú et al., (2007) para los suelos de los distintos sitios.

Propiedad	MC	MH	SD	A	P
MO	0.06	0.03	0.00	0.12	1.00
pH	0.00	0.13	0.06	0.62	1.00
SB	1.00	0.24	1.07	0.09	0.00
EA	0.38	0.02	0.10	0.93	1.00
Infiltración	0.60	0.00	0.20	1.00	0.99
Espesor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CICT	1.00	0.11	0.00	0.46	0.51
CE	0.63	0.00	0.65	1.01	1.00
PSI	0.36	0.00	0.81	1.00	0.98
Nitrógeno	0	0.13	0.15	0.55	1.00
Promedio	0.50	0.17	0.40	0.68	0.85

MC=Mezquital cerrado, MH=Mezquital v. halófito, SD= Suelo desnudo, A= Parcela agrícola, P= Pastizal. SB = Saturación de Bases, EA =Estabilidad de agregados, CICT = Capacidad de intercambio catiónico total, CE = Conductividad Eléctrica, PSI = Porcentaje de Sodio intercambiable.

Tabla 5. Valores normalizados por cada indicador e índices de calidad de suelo obtenidos de la ecuación de Andrews et al., (2002) para los suelos de los distintos sitios.

Propiedad	MC	MH	SD	A	P
MO	0.08	0.05	0.02	0.10	1.00
pH	0.85	0.86	0.85	0.93	1.00
SB	0.84	1.00	0.62	0.59	0.70
EA	0.43	0.11	0.09	0.93	1.00
Infiltración	0.65	0.15	0.19	1.00	0.99
Espesor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CICT	1.00	0.84	0.82	0.90	0.91
CE	0.20	0.08	0.21	1.00	0.94
PSI	0.29	0.2	0.57	1.00	0.92
Nitrógeno	0.02	0.14	0.17	0.56	1.00
ICS Total	5.36	4.43	4.54	8.01	9.46
Promedio	0.536	0.443	0.454	0.801	0.946

MC=Mezquital cerrado, MH=Mezquital v. halófito, SD= Suelo desnudo, A= Parcela agrícola, P= Pastizal. MO= Materia orgánica, SB = Saturación de Bases, EA =Estabilidad de agregados, CICT = Capacidad de intercambio catiónico total, CE = Conductividad Eléctrica, PSI = Porcentaje de Sodio intercambiable.

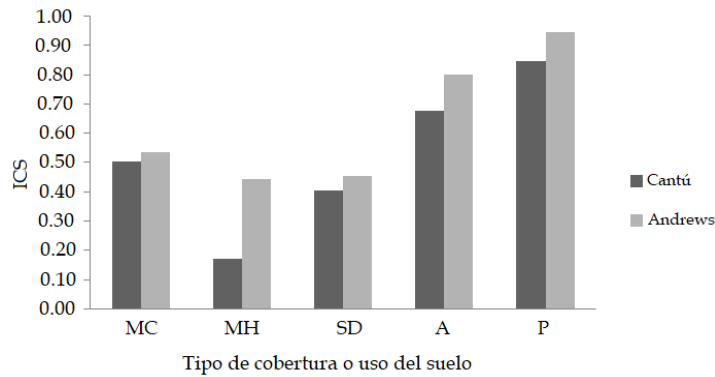


Fig. 2. Variación de los índices de calidad del suelo en las distintas coberturas o usos de suelo, según los modelos utilizados.

Por otra parte el comportamiento individual de las propiedades utilizadas para la construcción del índice se muestra en las Figuras 3 y 4 donde se observa la variación de los valores promedio entre los distintos sitios y en la Tabla 6 donde se muestran los valores promedio máximos y mínimos.

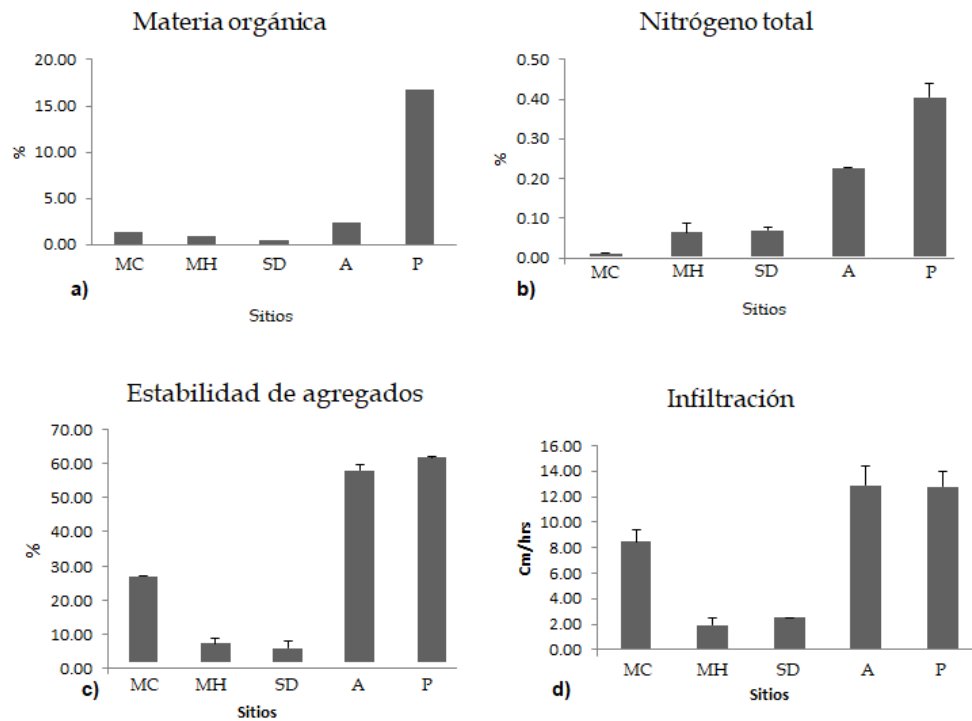


Fig. 3. Comportamiento de las propiedades más relacionadas con el ICS en los diferentes sitios. MC=mezquital cerrado, MH=mezquital v. halófito, SD= suelo desnudo, A= parcela agrícola, P= pastizal.



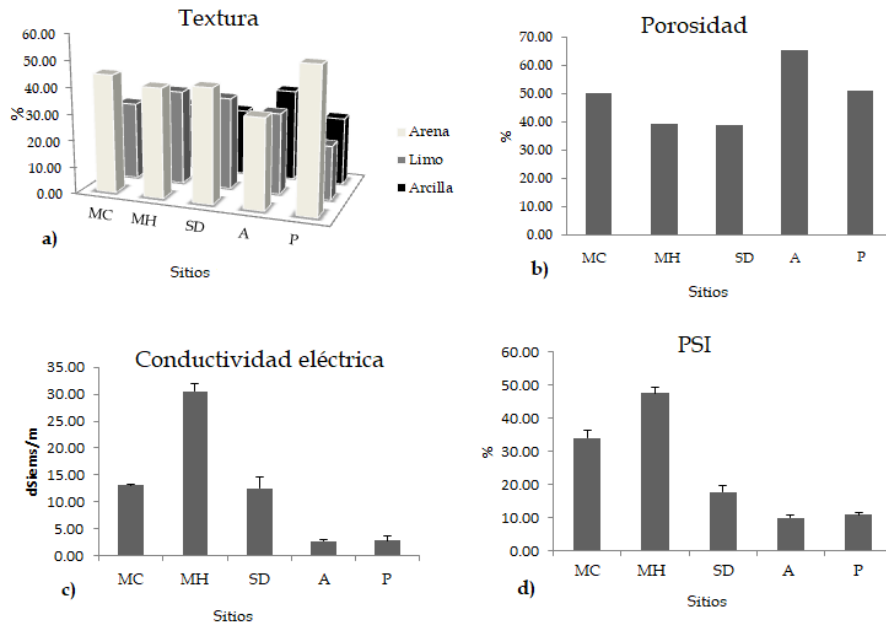


Fig. 4. Variación de la textura, porosidad y otras propiedades también muy vinculadas con la calidad del suelo en los distintos sitios estudiados. MC=mezquital cerrado, MH=mezquital v. halófito, SD= suelo desnudo, A= parcela agrícola, P= pastizal. PSI= Porcentaje de sodio intercambiable.

Tabla 6. Valores promedio mínimo máxima y promedio.

Sitio	Estabilidad agregados %	Materia orgánica %	Nitrógeno total %	pH	Capacidad intercambio catiónico cmol/kg	Saturación de bases %	Conductividad eléctrica dSiems	Sodio de intercambio %	Infiltración cm/hr
<b>Matorral cerrado</b>									
Valor máximo	30.36	1.39	0.0114	9.54	20.88	66.24	13.09	39.214	10.71
Valor mínimo	25.05	1.37	0.0110	9.34	15.52	47.46	13.02	29.148	6.82
Promedio	26.98	1.38	0.0112	9.44	17.33	56.79	13.06	33.979	8.48
<b>Matorral Veg. halófito</b>									
Valor máximo	10.48	1.104	0.091	9.77	20.88	94.23	32.96	50.63	2.50
Valor mínimo	4.04	0.852	0.014	8.79	15.52	53.12	27.74	44.55	0.83
Promedio	7.28	0.997	0.064	9.25	17.33	71.93	30.5	47.52	1.94
<b>Suelo desnudo</b>									
Valor máximo	9.00	0.69	0.084	9.77	19.92	51.52	15.82	21.27	2.54
Valor mínimo	4.00	0.28	0.062	8.80	17.68	36.70	10.53	15.66	2.50
Promedio	5.95	0.44	0.069	9.36	18.45	46.54	12.55	17.60	2.52
<b>Parcela agrícola</b>									
Valor máximo	61.63	2.93	0.230	8.62	23.40	47.33	3.32	8.26	15.00
Valor mínimo	54.11	1.73	0.221	8.51	20.40	35.93	2.08	4.53	10.00
Promedio	57.93	2.39	0.227	8.57	21.72	42.60	2.65	6.15	12.88
<b>Pastizal</b>									
Valor máximo	64.70	6.90	0.47	8.30	19.48	47.33	4.36	11.46	15.00
Valor mínimo	58.74	4.66	0.36	7.73	16.40	35.93	1.66	9.40	11.24
Promedio	61.66	5.58	0.41	8.03	17.59	42.60	2.80	10.72	12.80

Por otra parte los resultados del análisis de correlación que se aplicó (Tabla 7) indican que las propiedades que muestran una mayor relación lineal positiva con los (ICS) son: infiltración, estabilidad de agregados, nitrógeno y materia orgánica, lo que significa que al aumentar el valor de estas propiedades hay una alta probabilidad de que la calidad del suelo mejore, por el contrario, las que presentaron una correlación negativa con el ICS fueron: conductividad eléctrica, PSI y el pH, en este sentido se puede esperar que al aumentar el valor de estas propiedades es factible que la calidad del suelo disminuya.

Tabla 7. Valores obtenidos del coeficiente de correlación de Pearson y determinación R<sup>2</sup> entre el índice de calidad del suelo y las propiedades.

Propiedad	Coef. de correlación	R <sup>2</sup>
MO	0.75	0.57
pH	-0.83	0.76
SB	-0.37	0.65
EA	0.92	0.30
Infiltración	0.92	0.96
CICT	0.45	0.20
CE	-0.94	0.27
PSI	-0.83	0.44
Nitrógeno	0.83	0.62

SB = % Saturación de Bases, %EA =Estabilidad de agregados,  
 CICT = Capacidad de intercambio catiónico total, CE = Conductividad Eléctrica,  
 PSI = Porcentaje de Sodio intercambiable, MO= Materia orgánica.

El ANOVA aplicado a las propiedades utilizadas para obtener la calidad del suelo, indica que la mayoría de las propiedades consideradas presentan diferencias significativas (Tabla 8) entre estas se encuentran: la textura, materia orgánica, pH, intercambio catiónico, nitrógeno total, conductividad eléctrica y sodio intercambiable, de igual modo la mayoría obtuvieron valores altos de correlación.

Tabla 8. ANOVA de un factor para las propiedades evaluadas.

Propiedad	F	P
Materia Orgánica	47.604	0.000*
pH	9.484	0.002*
%Saturación de bases	3.160	0.064
Estabilidad agregados	141.203	0.000*
Capacidad de intercambio catiónico total	10.759	0.001*
Conductividad eléctrica	25.942	0.000*
Porcentaje de Sodio intercambiable	86.388	0.000*
Nitrógeno	49.428	0.000*
Infiltración	35.365	0.000*

\*Diferencias significativas  $\alpha < 0.05$

## DISCUSIÓN

Como se observa en la Figura 2, los resultados obtenidos de los índices de calidad del suelo en los dos modelos utilizados muestran una tendencia similar para todos los sitios estudiados, donde el suelo del pastizal fue el que obtuvo el valor más alto del ICS, seguido de la parcela agrícola y el matorral cerrado, mientras que el suelo desnudo y el matorral abierto con pasto hálofito fueron los que menor calidad presentaron. Sin embargo al comparar los valores del ICS en cada uno de los sitios, se tiene que los valores de calidad obtenidos en el modelo de Cantú et al., (2007) fueron un poco más bajos, sin embargo son los que más se apegan a las condiciones reales observadas en campo.

Esta diferencia es más notoria en el sitio MH, donde de acuerdo con el método de Andrews et al., (2002) se obtuvo un ICS de 0.44, en tanto que según el método de Cantú et al., (2007) el valor fue de 0.17, reflejando mejor la condición real del sitio (Fig.1). Considerando los resultados de los análisis estadísticos aplicados particularmente del análisis de correlación y ANOVA, indican que las diferencias en los (ICS) de los sitios estudiados depende de la variación directa de propiedades como: materia orgánica, nitrógeno, infiltración, estabilidad de agregados y de la variación inversa de la conductividad eléctrica, PSI y pH, estas últimas vinculadas con la salinidad y sodicidad del suelo.

En los resultados obtenidos se observa que la materia orgánica presentó amplia variación, el pastizal fue el sitio donde el suelo presentó los mayores contenidos con un 16.73% (Fig. 3a). La riqueza de MO en pastizales ha sido ampliamente documentada las gramíneas por su ciclo de vida corto y por su cobertura casi total, aportan grandes contenidos de materia orgánica año tras año (Payret, 2007). Después del pastizal le sigue la parcela agrícola con un 2.39% de MO, por otra parte donde se presentaron los valores más bajos fue el suelo desnudo con 0.44% entrando en la categoría de extremadamente pobre; la falta de MO en este sitio ha repercutido negativamente en el funcionamiento del suelo, por eso fue el que obtuvo la peor calidad. La MO es una propiedad clave en el mantenimiento de la calidad del suelo ya que de ella dependen otras propiedades las cuales controlan varios procesos y funciones vitales que el suelo realiza como la estabilidad de los agregados, resistencia a la erosión, almacenamiento de agua y el reciclaje de nutrientes entre otros (USDA, 1999; Boix-Fayos et al., 2001; Dexter et al., 2008; Riginos y Herrick, 2010).

El nitrógeno total (Fig. 3b), fue otra de las propiedades que presentó diferencias significativas mostrando un comportamiento similar al de la materia orgánica de la cual depende; el pastizal es la cobertura con más alto contenido de nitrógeno, seguido de la parcela agrícola, en los demás sitios la concentración fue muy baja, lo más sorprendente es que el mezquital cerrado fuera donde se encontró menos nitrógeno en el suelo, ya que se pensaba que al ser el lugar más conservado y con presencia de una especie fijadora de nitrógeno (Frías-Hernández et al., 1999) se esperaría que la concentración del nitrógeno fuera alta, sin embargo no fue así. Los bajos contenidos de nitrógeno de estos sitios son consecuencia de los bajos contenidos de MO y de la baja actividad microbiológica del suelo lo cual es normal para las zonas áridas y semiáridas donde la productividad es limitada (Wezel et al., 2000), por consiguiente si la MO es escasa también lo será el nitrógeno (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011). Debido a esta situación se reconoce al nitrógeno como factor limitante para la productividad de las plantas en esos ecosistemas (Mathers et al., 2006; Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011).

La estabilidad de los agregados también presentó una alta correlación con ICS y fue significativamente mayor en los suelos de los sitios P y A, el valor más bajo se registró en el suelo desnudo (Fig.3c), el comportamiento de esta propiedad se asocia directamente con la variación de

la materia orgánica. Está comprobado que diversos compuestos orgánicos junto con las arcillas actúan como pegamento que aglutina y atrapa muchas partículas del suelo, confiriendo gran estabilidad a dichas agrupaciones (USDA, 1999; Riginos y Herrick, 2010).

La infiltración también mostró diferencias significativas (Fig. 3d) fue más elevada en los sitios A y P, por el contrario el suelo desnudo y el mezquital con pasto halófito fueron donde el proceso de entrada de agua fue más lento. Del agua infiltrada se abastecen las plantas y muchos organismos, además el excedente de esta agua permite la recarga de acuíferos, por otra parte al infiltrarse más agua se reduce el riesgo de erosión debido a la disminución del escurrimiento superficial (Chamorro et al., 2001). La mejor infiltración del suelo de los sitios P y A, se debe a que hay una mejor porosidad, buena estructuración y estabilidad estructural, todo esto gracias a un mayor contenido de materia orgánica; por el contrario la baja tasa de infiltración del suelo en los sitios MH y SD, es ocasionada por los valores bajos de las propiedades antes mencionadas. Entre menos cobertura vegetal tenga el suelo, las gotas de lluvia causaran un mayor daño al caer y desintegrar los agregados, las partículas sueltas producto de este proceso al moverse rellenan los poros superficiales obstruyéndolos y formando un sellado o encostramiento de la superficie lo que impide la entrada del agua (Corinna y Herrick, 2010).

Por otra parte entre las propiedades que presentaron una relación negativa con la calidad del suelo de los sitios estudiados, fueron las vinculadas con el funcionamiento químico, específicamente las vinculadas con la salinidad, donde los suelos de los mezquital y el suelo desnudo son los que mostraron los valores más altos de conductividad eléctrica (Fig. 4c), debido a la presencia de una alta concentración de sales solubles, esta situación limita el desarrollo normal de muchas plantas al afectar la presión matricial del suelo (USDA, 1984). El sitio con el valor más bajo de CE es la parcela agrícola, este resultado hasta cierto punto es sorprendente ya que inicialmente se asumió que el suelo del sitio de la parcela agrícola sería el más afectado por la salinidad debido a que es regado con agua residual. Sin embargo para explicar este comportamiento el argumento más razonable al respecto es que el sitio A recibe un magnífico manejo por parte de los campesinos lo cual contradice lo que afirman varios autores como Hussain et al. (2002); Vega y Muñoz-Cobo (2005) y Núñez-García (2015), quienes argumentan que por lo regular el uso de aguas residuales en la agricultura tiende a degradar el suelo por el incremento de la salinidad. Por otra parte al observar los valores del sodio intercambiable (Fig. 4d) es claro que el sodio tiene una importante presencia en los complejos de cambio, por lo que se puede afirmar que el suelo de los sitios MC, MH y SD puede ser considerado como salino sódico.

En varios estudios se ha reportado el efecto negativo que tiene el uso del agua residual al salinizar y sodificar el suelo (Reddy y Behera, 2005; Guadarrama-Brito y Galván 2015). Los suelos salino-sódicos contienen alta concentración de sales y de sodio intercambiable por lo tanto su CE es mayor de 4 mmhos/cm y el pH menor de 8.5 (Vega y Muñoz-Cobo, 2005). Los resultados obtenidos demuestran que el uso del suelo o cobertura del terreno, el suelo desnudo y el mezquital abierto con vegetación halófito presentaron la peor calidad. Entre las propiedades físicas más relacionadas con el ICS y que mostraron diferencias significativas en los distintos sitios evaluados destaca la textura, la estabilidad de agregados y la infiltración. Las propiedades químicas más determinantes para la calidad del suelo son la materia orgánica, nitrógeno total, pH, conductividad eléctrica y el sodio intercambiable, lo que sugiere que la variación de estas propiedades repercutirá favorablemente o desfavorablemente en las funciones que el suelo realiza afectando con esto la calidad del suelo estudiado.

El índice de calidad de suelo propuesto por Cantú et al., (2007) fue el que mejor mostró las diferencias entre la calidad del suelo de los cinco sitios estudiados, demostrando que puede ser una herramienta confiable para este fin.

## REFERENCIAS

1. Andrews S.S., D.L. Karlen y J.P. Mitchel, 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90(1): 25-45. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00174-8
2. Arshad M.A. y S. Martin, 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88: 153-160. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00252-3
3. Astier C.M., M.M. Maass y B.J. Etchevers, 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5): 605-620.
4. Boix-Fayos C., A. Calvos-Cases, C. Imeson y 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(1): 47-67. DOI: 10.1016/S0341-8162(00)00176-4
5. Campitelli P., A. Aoki, O. Gudelj, A. Rubenacker y R. Sereno, 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y práctica agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo*, 28(2): 223-231.
6. Cantú P.M., A. Becker, C.J. Bedano y F.H. Schiavo, 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *CI. Suelo (Argentina)*, 25(2): 173-178.
7. Celaya-Michel H. y A.E. Castellanos-Villegas, 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3): 343-356.
8. Chamorro V., C. Ingaramo, O. Moro, E. Oleszczuk, E. Drganc y A. Asselborn, 2001. El proceso de infiltración en parcelas agrícolas de la provincia del Chaco. *Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos-Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE. Corrientes, Argentina. 4p.* ([www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-069.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/5-Agrarias/A-069.pdf)) (accesado en noviembre 18, 2016).
9. Corinna R. y J. Herrick, 2010. Monitoring rangeland health. A guide for pastoralist communities and other land managers in Eastern Africa. Version II. Nairobi, Kenya: ELMT-USAID/East Africa.
10. Dexter A.R., G. Richard, D. Arrouays, E.A. Jolivet y O. Duval, 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma*, 144: 620-627. DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.01.022
11. Dregne H.E., 2002. Land degradation in the drylands. *Arid Land Research and Management*, 16: 99-132. DOI:10.1080/153249802317304422
12. FAO (Food and Agriculture Organization), 2003. Evaluación de la degradación de la Tierra en zonas áridas (LADA). Documento preliminar, Roma.

13. FAO/ISRIC., 2000. Soil and terrain database, land degradation status and soil vulnerability assessment for Central and Eastern Europe. FAO's Land and Water. Digital Media Series, # 10. FAO, Rome.
14. Frías-Hernández J.T., A.L. Aguilar-Ledezma, V. Olalde-Portugal, J.A. Balderas-López, J.J. Alvarado-Gil, H. Castro, A. Vargas, L. Albores y L. Den-doooven, 1999. Research note soil characteristics in semiarid highlands of central Mexico as affected by mesquite trees (*Prosopis laevigata*). *Arid Land Research and Rehabilitation*, 13(1): 305-312. DOI: 10.1080/089030699263339
15. Guadarrama-Brito M.E. y A.F. Galván, 2015. Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7): 22-44.
16. Gugino B.R., H. Idowu, D. Schindelbeck, B.Wolfe, J. Moebius-Clune y G. Abawi, 2009. Cornell Soil Health Assessment Training Manual. Cornell University.
17. Herrick J.E., 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology*, 15(1): 75-83. DOI: 10.1016/S0929-1393(00)00073-1
18. Herrick J.E., J.R. Brown, A.J. Tugel, P.L. Shaver y K.M. Havstad, 2002. Application of soil quality to monitoring and management. *Agronomy Journal*, 94: 3-11. DOI: 10.2134/agronj2002.3000
19. Hussain I., L. Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar y W. Van der Hoek, 2002. Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Documento de trabajo N° 37. Colombo: International Water Management Institute.
20. IDRC-OPS/HEP/CEPIS, 2002. Estudio complementario del caso Mezquital, estado de Hidalgo, México. Proyecto regional: Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IDRC- OPS/HEP/CEPIS, México.
21. INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística), 2004. Edafología. Mapa digital México <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjIzLjMyMDA4LGxvbjotMTAyLjE0NTY1LHo6MSxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZXJ2aWNpb3M=>. (accesado en diciembre 09, 2016).
22. Le Houérou H.N., 2002. Man-made deserts: desertization processes and threats. *Arid Land Research Manage*, 16: 1-36. DOI: 10.1080/153249802753365296
23. Mathers N.J., B. Harms y R.C. Dalal, 2006. Impacts of landuse change on nitrogen status and mineralization in the Mulga Lands of Southern Queensland. *Austral Ecology*, 31(6): 708-718. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2006.01613.x
24. Muñoz I.D. y G.F. López, 1997. Descripción físico-botánica y diagnóstico ambiental del Valle del Mezquital, Hidalgo. En Seminario sobre Uso de Aguas Residuales para Riego. Problemática del Valle del Mezquital. Red  $\alpha$ -Mezquital. UNAM. México. 40-44.
25. Muñoz I.D., G.F López, A.A Soler y M.M. Hernández, 2013. Edafología: Manual de métodos de análisis del suelo. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.

26. Núñez-García A.L., 2015. Caracterización de la problemática de las aguas residuales en Ixmiquilpan, Hidalgo. (Tesis Profesional, Universidad Autónoma Metropolitana: Unidad Iztapalapa, México).
27. Payret C.C., 2007. Dinámica de la materia orgánica y de algunos parámetros fisicoquímicos en molisoles, en la conversión de una pradera a cultivo forestal en la región de Piedras Coloradas-Algorta (Uruguay). (Tesis de Doctorado, Institut National Polytechnique de Toulouse, France).
28. Reddy R.V. y B. Behera, 2005. Impact of water pollution on rural communities: An economic analysis. *Ecological Economics*, 58(3): 520-537.  
DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.07.025
29. Riginos C. y J. Herrick, 2010. Monitoring rangeland health: A guide for pastoralist communities and other land managers in Eastern Africa Version II. Nairobi, Kenya: ELMT-USAID/East Africa.
30. Robertson G.P., D.C. Coleman, C.S. Bledsoe y P. Sollins, 1999. *Standar Soil Methods for Long-Term Ecological Research*. Oxford University.
31. Schoenholtz S.H., H. Van Miegroet y J.A. Burger, 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138(1-3): 335-356.  
DOI: 10.1016/S0378-1127(00)00423-0
32. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT, México.
33. SGM (Servicio Geológico Mexicano), 2001. Carta geológica Tasquillo Hidalgo. F14 C69, Hidalgo. Secretaría de Economía. Pachuca, México.
34. NU-CLD (Naciones Unidas- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación), 2005. Evaluación de la degradación de tierras en zonas secas. Conferencia de las Partes, Comité de Ciencia y Tecnología, Séptimo periodo de sesiones, Nairobi, 18 a 20 de octubre de 2005.
35. USDA (United States Department of Agriculture), 1984. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Survey Investigation Report No. 1. Soil Conservation Service. Washington, D.C.
36. USDA (United States Department of Agriculture), 1999. Soil quality kit guide. USDA-NRCS Soil Quality Institute, Washington, DC.
37. Vega V.M. y M.P. Muñoz-Cobo, 2005. Calidad del agua de riego. Riego con aguas salinas. En: M.P. Muñoz-Cobo (Coord.), *Cultivo del Olivo con Riego Localizado*. Mundi Prensa Libros S.A., Andalucía, España.

38. Wezel A.J., L. Rajot y C. Herbrig, 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *Journal of Arid Environments*, 44(4): 383-398. DOI: 10.1006/jare.1999.0609

39. Zar J., 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey.

BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología, se encuentra actualmente indexada en



alojada en los repositorios



y en bases electrónicas de bibliotecas

