



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

Tema Gerador 9

Manejo de Agroecosistemas  
e Agricultura Orgánica



## Índices de Sostenibilidad del Suelo en Parcelas con Nopal Orgánico y Convencional en Axapusco, México

*Soil Sustainability Indices in Plots with Organic and Conventional Nopal in Axapusco, Mexico*

Álvarez Hernández Rogelio<sup>1</sup>, Salazar Torres José Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Agricultura Orgánica, Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México; CP 56230;  
roger\_owl\_uach@yahoo.com.mx; jocusamx@yahoo.com;

Manejo de Agroecosistemas y Agricultura Orgánica

### Resumen

En parcelas con producción orgánica y convencional de nopal en Axapusco, al NE de la Ciudad de México, se muestrearon según la NOM-2002, 16 sitios, se evaluó la fertilidad y se estimó el Índice Agrícola de Sustentabilidad del Suelo (IASS). La fertilidad en ambas condiciones fue muy variable con bajo contenido de N, Fe, Cu, Zn, Mn y MO; con un pH de 5.6 a 7.8. El 68.75% de los suelos tuvieron nivel 3 (sustentabilidad con alto uso de insumos); 18.75%, nivel 4 (sustentabilidad con otro uso de suelo) y 12.5%, nivel 2 (sustentabilidad). A pesar del manejo orgánico, no hubo diferencias en fertilidad y sostenibilidad. El principal parámetro de impacto sobre IASS fue la baja proporción de C orgánico propiciado por el cultivo y la baja aportación de MO por los productores. Hay diversas prácticas agroecológicas aplicables para mejorar las condiciones del suelo, pero, la situación cultural y socioeconómica de los productores sólo permitiría establecer una alternativa a mediano y largo plazo.

**Palabras clave:** calidad del suelo; degradación de tierras; capacidad de resiliencia.

### Summary

In plots with organic and conventional nopal production in Axapusco, NE, Mexico City, 16 sites were sampled according to the NOM-2002, where fertility was evaluated and the Agricultural Soil Sustainability Index (ASSI) was estimated. Fertility in both management conditions was highly variable with low N, micronutrients and OM contents and pH 5.6 to 7.8. The 68.75% of the soils had level 3 (sustainability with high use of inputs); 18.75% were level 4 (sustainability with other land use) and 12.5%, level 2 (sustainability). In spite of the organic management, in fertility and sustainability there were no differences in the farms. The main parameter of impact on ASSI was the low proportion of SOC favored by the type of crop and low OM contributions by the producers. There are various agroecological practices applicable to improve soil conditions, but the cultural and socioeconomic situation of the producers would only allow establishing an alternative in the medium and long term.

**Keywords.** Soil quality; land degradation; resilience capacity.

### Introducción

El consumo de alimentos orgánicos aumenta en el mundo, por estatus o salud, y cada vez son más los usuarios que buscan estos productos. Hoy día en varias entidades de México hay un poco de producción orgánica de nopal y tuna (Mejía, 2006). Este



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

Tema Gerador 9

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



tipo de producción es un sistema holístico de gestión productiva, que valora la función del conjunto más que la suma de cada parte. Enfatiza el uso de prácticas de gestión locales, sobre los insumos externos. Siempre que sea factible usa métodos culturales, biológicos y mecánicos, en oposición a los sintéticos. Se basa en normas específicas y precisas, para lograr agroecosistemas óptimos y sostenibles social, ecológica y económicamente. Fomenta y mejora la salud del agroecosistema, la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo (Allen *et al.*, 1991).

El uso sostenible de los recursos del suelo depende de tres factores que interactúan, dinámicamente, como una serie de sistemas y el cambio en un factor altera a los otros (Allen *et al.*, 1991; Rahmanipour, 2014) y son: características del suelo relacionadas con el ambiente, hidrología y condiciones de uso de la tierra. El uso sostenible del suelo se refiere al manejo como recurso natural sin ejercer efectos negativos o insalvables en condiciones racionales, ya sea en el propio suelo u otros sistemas del entorno. La sostenibilidad del suelo se puede lograr mediante métodos prácticos de gestión, y sólo se asegura si el flujo de materia y energía de los procesos del suelo se controlan e influyen positivamente (Zinck & Farshad, 1995; Tesfahunegn, 2014). El manejo correcto de un suelo es preciso para resguardar su fertilidad, obtener más productividad y respeto ambiental. Garantizar un uso sostenible del suelo es el principal objetivo de una correcta gestión que debe integrar otras políticas comunitarias (agricultura, desarrollo regional y uso de energía (Allen *et al.*, 1991).

La sostenibilidad del uso y conservación del suelo depende de su capacidad para realizar y mantener su función, su capacidad de resiliencia ante los impactos en el tiempo y la presión cambiante de las amenazas degradativas (Lal, 1994; Tesfahunegn, 2014). Estas amenazas son: erosión, salinización, pH extremo, compactación, pérdida de MO y biodiversidad, soliflucción, contaminación, sellado del suelo, baja de retención de agua, alteración de ciclos biogeoquímicos, retardo de descomposición de contaminantes, reducción de fertilidad. Todo ello impacta la calidad del agua, del aire, las cadenas tróficas, el cambio climático, la biosfera y amenaza la seguridad de alimentos y forrajes. La degradación de suelos ha crecido por falta de conocimiento de los agricultores y por mal manejo (Imaz *et al.*, 2010; Rahmanipour, 2014).

La calidad del suelo es la capacidad y límites de uso de un suelo para funcionar en un ecosistema, sostener la actividad biológica, mantener la calidad ambiental, y promover la flora, la fauna y la salud humana (SQI, 1996). Si los indicadores de calidad del suelo son óptimos, el rendimiento agrícola será el máximo obtenible con menor degradación del terreno. Los suelos agrícolas con un buen estado físico y calidad tienen estructura



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF E ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

Tema Gerador 9

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



estable, adecuada resistencia a la erosión y a la compactación y aportan una condición propicia al crecimiento vegetal y al desarrollo y proliferación de raíces y microorganismos (Rahmanipour et al., 2014; Raiesi & Kabiri, 2016).

El **Índice de Sostenibilidad del Suelo (SSI)** es una medida comparativa de la calidad del suelo mediante un gradiente de disturbio o estrés, de la estabilidad de sus características en el tiempo y sus interacciones ambientales internas y externas, que propician su degradación; se define como:  $SSI = X SQI / (100 - CDE)$ . Dónde: IQS es el Índice de Calidad del Suelo y CDE es el efecto acumulativo de degradación.

La evaluación de los recursos del suelo requiere evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas, y la interacción entre ellas, según propósitos definidos (Qui *et al.*, 2009; Tesfahunegn, 2014, Paz-Ferreiro & Fu, 2016). El método de evaluación de calidad y sostenibilidad del suelo permite mejorar su uso y manejo; es muy flexible, a fin de vincularlo con la evaluación de riesgos de degradación, es de fácil medición y con sensibilidad al cambio de las condiciones del suelo y permite identificar un uso sostenible y correcto. Se usan diversos indicadores de calidad de los suelos tales como el Conjunto Total de Datos (TDS) y el Conjunto Mínimo de Datos (MDS) (Lal, 1994; Chen *et al.*, 2013). Estos índices representan efectos acumulativos de las propiedades del suelo como un índice de la función de cada indicador en la calidad del suelo (Lal, 1994; Erkossa, 2007; Askari & Holden, 2014; Rodríguez *et al.*, 2016); estos índices sólo se calculan mediante datos de análisis del suelo, el cual es necesario si se quiere una buena gestión, pues representa información esencial para un buen manejo. Por lo anterior se pretende alcanzar los siguientes objetivos.

## Objetivos

Evaluar la fertilidad de los suelos bajo diferentes condiciones de manejo.

Calcular los indicadores de sostenibilidad de los suelos en predios con nopal orgánico y convencional y sugerir estrategias de gestión.

## Metodología

El trabajo se realizó en Axapusco, al NE del Estado de México, a 98°47'50" longitud W y 19°43'10" latitud N, a 2,350 metros de altitud, con un clima templado seco con lluvias en verano, donde hay producción orgánica y convencional de nopal y tuna. El muestreo de suelos, según la NOM SUELOS-DOF-31-12-2002 (NOM, 2002), se efectuó en 4 predios sembrados con nopal tunero en 4 zonas por predio, resultando 16 sitios muestreados (Cuadro 1).



Cuadro 1. Relación de los sitios de muestreo en suelos de cuatro predios sembrados con nopal tunero en el municipio de Axapusco, Estado de México.

Sitios		Manejo orgánico	Sitios		Manejo convencional
S1-OPL	S2-OPL	Junto a las plantas	S3-CPL	S4-CPL	Junto a las plantas
S1-OIN	S2-OIN	Entre plantas	S3-CIN	S4-CIN	Entre plantas
S1-OAM	S2-OAM	Zona de amortiguamiento	S3-CAM	S4-CAM	Zona de amortiguamiento
S1-OLN	S2-OLN	Entre líneas de plantación	S3-CLN	S4-CLN	Entre líneas de plantación

Los análisis de suelos se realizaron en el Laboratorio Central Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo según la NOM SUELOS-DOF-31-12-2002 (NOM, 2002). Con los Resultados se determinaron las propiedades usadas como indicadores de sostenibilidad: (a) Textura. Bouyoucos. (b)  $D_{\text{aparente}}$ . Parafina. (c)  $D_{\text{real}}$ . Picnómetro. (d) Porosidad. Calculo. (e) pH. Potenciómetro relación suelo-agua (1:2). (f) Ca, Mg y Na. Extracción con  $C_2H_3O_2NH_4$  1.0 N, pH 7.0 relación 1:2 y determinado con espectrofotómetro de absorción atómica. (g)  $CE_{\text{ext}}$ . Extracto de saturación (1:2). (h) SAR. Cálculo. (i)  $C_{\text{orgánico}}$ . Calculado de la MO. Walkley y Black. (j)  $CC_{\text{relativa}}$ . Cálculo con datos de Placa de Presión. (k) PMP. Membrana permeable. (l) Disponibilidad de retención de agua. CC-PMP. (m) Capacidad de aireación. Cálculo.

Se determinaron para evaluar la fertilidad: (1)  $N-NO_3$ . Por extracción con KCl 2N y arrastre de vapor. (2) P. Bray. (3) K intercambiable. Extraído con  $C_2H_3O_2NH_4$ , 1.0 N, pH 7.0 relación 1:20 y espectrofotómetro de emisión de flama. (4) Fe, Cu, Zn y Mn. Extraídos con DTPA relación 1:4 y espectrofotómetro de absorción atómica. (5) B. Extraído con  $CaCl_2$  1.0M y fotocolorimetría de Azometina-H. (6) CIC. Con  $C_2H_3O_2NH_4$  1.0N pH 7.0 y centrifugado. La interpretación de los Resultados se realizó de acuerdo con Castellanos *et al.*, (2000) y NOM SUELOS-DOF-31-12-2002 (NOM, 2002).

La calidad del suelo se midió por indicadores (Lal, 1994; SQI, 1996), para lo cual se obtuvo el Peso Relativo de Factores (RWF) según los valores de Indicadores de Calidad del Suelo usando la Puntuación Acumulativa (CR); para esto se usaron los valores de Capacidad de aireación (CA), Disponibilidad de retención de agua (DRA), CC relativa (CCR), Densidad aparente (Dap), C orgánico del Suelo (COS), Textura (Tex), Relación de absorción de sodio (SAR), Conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución del suelo (pH), según la metodología propuesta por Lal, 1994 (Cuadro 2).



Después se realizó la Clasificación de Sustentabilidad del Suelo con base la Puntuación Acumulativa (CR) según 9 indicadores del Conjunto Total de Datos (TDS) y 5 indicadores del Conjunto Mínimo de Datos (MDS), Cuadro 3 (Lal, 1994).

**Cuadro 2.** Peso Relativo de Factores (RWF) con base a Puntuación Acumulativa (CR).

Límite	RWF	CA	DRA	Dap	Tex	CCR	RAS	COS	CE	pH
Ninguno	1	>0.20	>0.30	<13	Areno limosa	0.6-0.7	<3	70-130	<3	6-7
Débil	2	0.18-0.20	0.20-0.30	13-14	Limoso Limo arcilloso	0.5-0.6 0.7-0.75	3-6	45-70	3-5	5.8-7 5.8-6
Moderado	3	0.15-0.18	0.08-0.20	14-15	Arcillo limoso Areno limosa	0.4-0.5 0.75-0.8	6-12	14-45	5-7	5.4-5.8 7.4-7.8
Severo	4	0.10-0.15	0.02-0.08	15-16	Franco Limo arenoso	0.35-0.4 0.8-0.9	12-20	7.5-14	7-10	5.0-5.4 7.8-8.2
Extremo	5	<0.10	<0.02	>16	Arcilla arenosa	<0.35 a >0.9	>20	<7.5	10	<5.0 a >8.2



**Cuadro 3.** Clasificación de la Sustentabilidad del Suelo con base en indicadores.

Sustentabilidad del suelo	RWF	CR-TDS. Rating acumulativo de 9 indicadores del suelo	CR-MDS. Rating acumulativo de 5 indicadores del suelo
Alta sustentabilidad	1	<16	<9
Sustentabilidad	2	16-21	9-14
Sustentabilidad con alto uso de insumos	3	21-26	14-19
Sustentabilidad con otro uso del suelo	4	26-31	19-24
No sustentable	5	>31	>24

## Resultados

Los predios tienen pendientes <2%, poca erosión, superficie calcárea no pedregosa; profundidad <30 cm y subyace un tepetate, duro, continuo y consistente. Textura franco arenosa y franca. Consistencia blanda en seco y muy friable en húmedo; adhesividad y plasticidad ligeras; buena cohesión. Estructura en bloques subangulares. Permeabilidad y escurrimiento superficial moderados. Dap de 1.13 a 1.36 g cm<sup>-3</sup>, porosidad de mediana a alta y buena aireación. CC de 31 a 51%, PMP de 16 a 37%, saturación de 49 a 55%, mediana retención de agua con 13 a 16% y baja conductividad hidráulica. Escasez de raíces finas y muy finas. El pH varió de 5.62 a 7.8. La fertilidad del suelo en ambas condiciones de manejo fue muy variable con una distribución irregular de nutrimentos. N-NO<sub>3</sub> de bajo a medio. Bajo contenido de Fe, Cu, Zn y Mn. La MO <3%, aun bajo manejo orgánico.

**Figura 4.** Valores de Índice Agrícola de Sustentabilidad del Suelo (IASS) en parcelas con nopal orgánico y convencional en Axapusco, Estado de México.

Sitios con manejo orgánico				Sitios con manejo convencional			
Sitio	IASS	Sitio	IASS	Sitio	IASS	Sitio	IASS
S1-OPL	3	S2-OPL	3	S3-CPL	3	S4-CPL	3
S1-OIN	2	S2-OIN	3	S3-CIN	4	S4-CIN	4
S1-OAM	3	S2-OAM	2	S3-CAM	4	S4-CAM	3
S1-OLN	3	S2-OLN	3	S3-CLN	3	S4-CLN	3



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

**Tema Gerador 9**

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



Se realizó la comparación de medias (HSD) y no hubo diferencia estadística significativa en los valores de las medias en ninguno de los sitios evaluados. Statgraphics Centurion©, 2015.

El 68.75% de los suelos tuvieron nivel 3 (sustentabilidad con alto uso de insumos); 18.75%, nivel 4 (sustentabilidad sólo con otro uso de suelo) y 12.5%, nivel 2 (sustentabilidad). A pesar del manejo orgánico, no hubo diferencias en fertilidad y sostenibilidad en los predios evaluados. El principal parámetro de impacto sobre los índices de sostenibilidad fue la escasa proporción de C orgánico de los suelos; propiciado por el tipo de cultivo y las bajas aportaciones de los productores. Se trata de zonas secas y con paso continuo de ovinos y accidentalmente hay quemas de pastos y arvenses, lo que disminuye el contenido de MO.

### **Conclusiones**

El impacto principal sobre el IASS fue propiciado por la baja cantidad de MO propiciado por el tipo de cultivo, el pastoreo y las quemas accidentales, que impactan el cultivo, independientemente del tipo de manejo.

Al estar ubicadas las parcelas junto a carreteras de gran flujo vial hay diversas afectaciones a los cultivos de nopal.

Agroecológicamente hay diversas prácticas aplicables para mejorar las condiciones del suelo del área de estudio (cultivos de cobertura entre franjas de plantas, incremento del abonado orgánico, manejo de arvenses aprovechables, control alternativos de plagas); pero, la situación socioeconómica y cultural, de los productores sólo permitirá implantar una opción a mediano y largo plazo.

### **Referencias bibliográficas**

Allen, P., Van-Dusen, D., Lundy, J., Gliessman, S., 1991. Integrating social, environmental and economic issues in sustainable agriculture. *Am. J. of Altern. Agric.* 6 (1): 34-39.

Askari, M. S., Holden, N. M., 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma* 230–231, 131–142.

Castellanos, J. Z., Uvalle B., J. X. y Aguilar S., A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. INCAPA. San Miguel de Allende, Guanajuato. pp. 226.

Chen, Y. D., Wang, H. Y., Zhou, J. M., Xing, L., Zhu, B. S., Zhao, Y. C., Chen, X. Q., 2013. Minimum data set for assessing soil quality in farm land of Northeast China. *Pedosphere* 23 (5): 564-576.



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

Tema Gerador 9

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



Erkossa, T., Itanna, F., Stahr, K., 2007. Indexing soil quality: a new paradigm in soils science research. *Aust. J. Soil Res.* 45, 129-137.

Imaz, M. J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernández-Ugalde, O., Karlen, D. L., 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil Tillage Res.* 107 (1): 17-25.

Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Soil Management Support System, USDA-NRCS, Washington, DC. pp: 1-88.

Mejía L., F. 2006. Producción de tuna (*Opuntia* sp.) orgánica en el valle de Teotihuacán, Estado de México. 1<sup>er</sup> Encuentro Latinoamericano y del Caribe de Productoras y Productores, Experimentadores y de Investigadores en Agricultura Orgánica. Resúmenes. Managua, Nicaragua. pp. 67-68.

NOM. 2002. NOM SUELOS-DOF-31-12-2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F. 79 p.

Paz-Ferreiro, J., Fu, S., 2016. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degrad. Dev.* 27, 14-25.

Qui, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., Gu, Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149 (3-4): 325-334.

Rahmanipour F., Marzaioli R., Bahrami, H. A, Fereidouni, Z., & Bandarabadi S. R. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators* 40: 19-26.

Raiesi, F. & Kabiri, V. 2016. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators* 71: 198-207

Rodríguez, E., Peche, R., Garbisu, C., Gorostiza, I., Epelde, L., Artetxe, U., Irizar, A., Soto, M., Becerril, J. M., & Etxebarria, J. 2016. Dynamic Quality Index for agricultural soils based on fuzzy logic. *Ecol. Indicators* 60: 678-692.

SQI-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center and The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, & the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA. 5 p.





VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO  
X CONGRESSO BRASILEIRO  
V SEMINÁRIO DO DF e ENTORNO  
**12-15 SETEMBRO 2017**  
**BRASÍLIA- DF, BRASIL**

**Tema Gerador 9**

Manejo de Agroecossistemas  
e Agricultura Orgânica



Tesfahunegn, G. B., 2014. Soil quality assessment for evaluating soil degradation in Northern Ethiopia. *App. Environ. Soil Sci.*, 15, 646502-1-646502/15.

Zinck, J. A. and A. Farshad. 1995. Issues of sustainability and sustainable land management. *Canadian J. Soil Sci.* (75): 407-412.