

EFECTO DE LA MATERIA ORGÁNICA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL DE LA LLANURA COSTERA NORTE DE NAYARIT, MÉXICO

EFFECT OF ORGANIC MATTER ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN AN AGROFORESTRY SYSTEM IN THE NORTHERN COASTAL PLAIN OF NAYARIT, MEXICO

Murray Núñez RM¹, Bojórquez Serrano JI², Hernández Jimenez A³,
Orozco Benítez MG², García Paredes JD², Gómez Aguilar R²,
Ontiveros Guerra HM¹, Aguirre Ortega J².

¹Estudiante de doctorado del posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit.

²Universidad Autónoma de Nayarit.

³Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba.

Recibido: 24 de febrero de 2011.

Aceptado: 24 de marzo de 2011.

Resumen

Se planteo analizar el comportamiento del contenido de materia orgánica de un suelo bajo un sistema agroforestal y los cambios ocurridos en algunas propiedades físicas. Este trabajo se llevó a cabo en un sistema agroforestal en la Llanura Costera Norte del estado de Nayarit, en el cual se valoraron propiedades del suelo, como son: materia orgánica (MO) y propiedades físicas, como humedad (W), densidad aparente (Da), porosidad total (Pt) y la capacidad de campo (CC). En el 2005, se realizó el perfil y se describió en campo y laboratorio, presentando una textura arcillosa (arena 29.1 %, limo 18.0 % y arcilla 52.8 %), pH medio (7.0), MO 0.51 %, capacidad de intercambio catiónico (CIC) 24.0 cmol·kg⁻¹, Da 1.4 kg dm⁻³ CC y 24.3 %. El suelo se clasificó como Fluvisol haplico. Se caracterizó el suelo a una profundidad de 0-20 cm por coincidir con el espesor del horizonte A del suelo, considerando que es el horizonte más influenciado a corto plazo por la hojarasca. Se dió un seguimiento de dos muestreos por año hasta 2010, los resultados más sobresalientes a 6 años de implantado el sistema indican una disminución

en la Da de 1.09 kg dm⁻³, un aumento en la MO de 3.85 %, Pt de 58 %, porosidad de aireación (Pa) 22.1 % y en la CC 35.9 %.

Palabras clave: propiedades físicas del suelo, sistema agroforestal, materia orgánica.

Abstract

An analysis of the behavior of the soil organic matter content was done under an agro-forestry system and the changes occurring in some physical and hydrophysical properties. The present work was conducted in an agro-forestry system in the north coastal plain of Nayarit, Mexico; in which soil properties were evaluated, such as: organic matter (OM) and above all, physical properties like: humidity (W), bulk density (Bd), total porosity (Tp) and field capacity (Fc). In 2005, a soil profile was done and described in the field and analyzed in the laboratory resulting a clay texture (sand 29.1 %, lime 18.0 % y clay 52.8 %), mean pH (7.0), OM 0.51 %, exchangea-

Autor responsable:

Murray Núñez RM. Estudiante de doctorado del posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Domicilio: Carretera Tepic-Compostela Km. 9, C.P. 63780, Xalisco Nayarit, México. Tel., fax: 01 (311) 2110128. Correo Electrónico: ramurray_13@hotmail.com

ble cationic capacity $24.0 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, B_d 1.4 kg dm^{-3} F_c y 24.3% . The profile was classified as Fluvisol haplic. The soil was characterized in a depth of 0-20 to agree with the depth of the A horizon, considering that it is the most influenced in the short term by the dead leaves. A follow up sampling was done every year until 2010, whereas the most relevant results up to six years of the implantation of the system indicated a diminishing of the B_d 1.09 kg dm^{-3} , a higher content of OM 3.85% , T_p 58% , air porosity (A_p) 22.1% and in the F_c 35.9% .

Key words: soil physical properties, agroforestry, system organic matter.

Introducción

El suelo es un subsistema fundamental del ecosistema forestal con características físicas, químicas y biológicas decisivas en su fertilidad, que a su vez determinan sus propiedades y los cambios que ocurren a través del tiempo, así como la influencia por efecto del cambio de uso del suelo. El uso intensivo de los suelos provoca cambios en sus propiedades llegando a afectar la capacidad productiva a través de su influencia sobre la vegetación y tipos de usos posibles en la agricultura (Hernández *et al.*, 2004; Hernández *et al.*, 2006).

Las principales características físicas que influyen sobre la estructura del suelo son la profundidad del espacio enraizable, el régimen de humedad (capacidad de agua útil, drenaje) y del aire (macroporosidad). Estas últimas propiedades, en iguales condiciones climáticas, son las principales causantes del cambio en la composición de la vegetación agroforestal (Lal, 2000), y junto con la actividad antropogénica provocan el surgimiento de procesos de degradación de las propiedades de los suelos (Oldeman *et al.*, 1990; Kumar y Kafle, 2009). Estos procesos tienen lugar principalmente en las propiedades, como son: la materia orgánica (MO), densidad aparente (D_a), porosidad total (P_t), la capacidad de campo (C_C) y la humedad.

El papel de la agroforestería es mejorar el suelo, mantener la productividad mediante un manejo planificado, racionalizando el impacto sobre el ambiente (Shibu, 2009). En este contexto, conocer la influencia de las especies arbóreas sobre la estructura de los suelos resulta importante para su utilización en proyectos de recuperación de áreas degradadas o en el manejo de sistemas que tiendan a la sostenibilidad (Montagnini *et al.*, 1995), a su vez que la relación $MO - D_a = Estructura$, se ve favorecida en la medida que los sistemas agroforestales tienen aportes anuales de hojarasca suficiente como para modificar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mediante un incremento de la materia orgánica en la superficie y en el subsuelo (Prause *et al.*, 2000).

La evolución de un sistema agroforestal genera cambios en los componentes químicos del suelo que no impactan en la fertilidad, sino que la mejora, con un comportamiento favorable del contenido de materia orgánica (Alonso *et al.*, 2007).

Los cambios en el contenido de la materia orgánica de los suelos modifican las propiedades físicas como la estructura y la D_a , así como la P_t , P_a , infiltración y el límite superior de humedad productiva (LSHP) ó C_C (Montiel, 2000). Estos son cambios que pueden ser alterados por las labores de cultivo, mientras que la textura no cambia por las operaciones usuales de laboreo.

Por su parte una buena permeabilidad indica un escaso o nulo movimiento lateral del agua de escorrentía superficial, ocasionando menor erosión y períodos más largos de infiltración. Como consecuencia de un mayor contenido de MO se presenta una mejor estructura y aumento de la presencia de canales (abiertos por la mesofauna edáfica), la infiltración de los suelos agroforestales es mayor que en suelos similares dedicados a la agricultura (Ingelmo y Cuadrado, 1986). La influencia de la textura arcillosa, ocasiona una disminución de la velocidad de infiltración a medida que se reduce el espacio poroso del mismo; es decir, está en función de la dimensión de los poros esto es ocasionado por un aumento en su D_a (Duchaufour y Souchier, 1987; Pritchett, 1986).

Considerando que las propiedades físicas son de interés en la detección de cambios en la estructura y composición de los suelos en un sistema agroforestal, y dada la importancia para el desarrollo agrícola-ganadero que representa la llanura costera norte de Nayarit, este trabajo tiene por objetivo analizar el comportamiento de la materia orgánica de un suelo bajo un sistema agroforestal y los cambios ocurridos en algunas propiedades físicas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México, localizado en el municipio de Santiago Ixcuintla, en las coordenadas 21° 44' 46'' N; y 105° 20' 51'' O; con una altitud de 8 m, con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (1000-1100 mm), tem-

peratura promedio anual de 24.8°C y con un manto freático a 1.20 m (Figura 1).

El predio está ubicado geomorfológicamente en la llanura baja con influencia fluvio-marina del delta del río Santiago (Bojorquez *et al.*, 2006), cuyo material de origen son sedimentos fluvio marinos y el tiempo de formación Postholoceno (Contreras, 1988; Curray *et al.*, 1969). El sistema agroforestal fue establecido en el año 2004, a base de árboles maderables como amapa (*Tabebuia rosea*), caoba (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), melina (*Gemelina arborea*), paulonia (*Pawlonia tomentosa*), primavera (*Tabebuia pentaphylla*) y teca (*Tectona grandis*). El sistema agroforestal fue un lote mixto correspondiente a las especies forestales descritas y cuatro arbustivas,

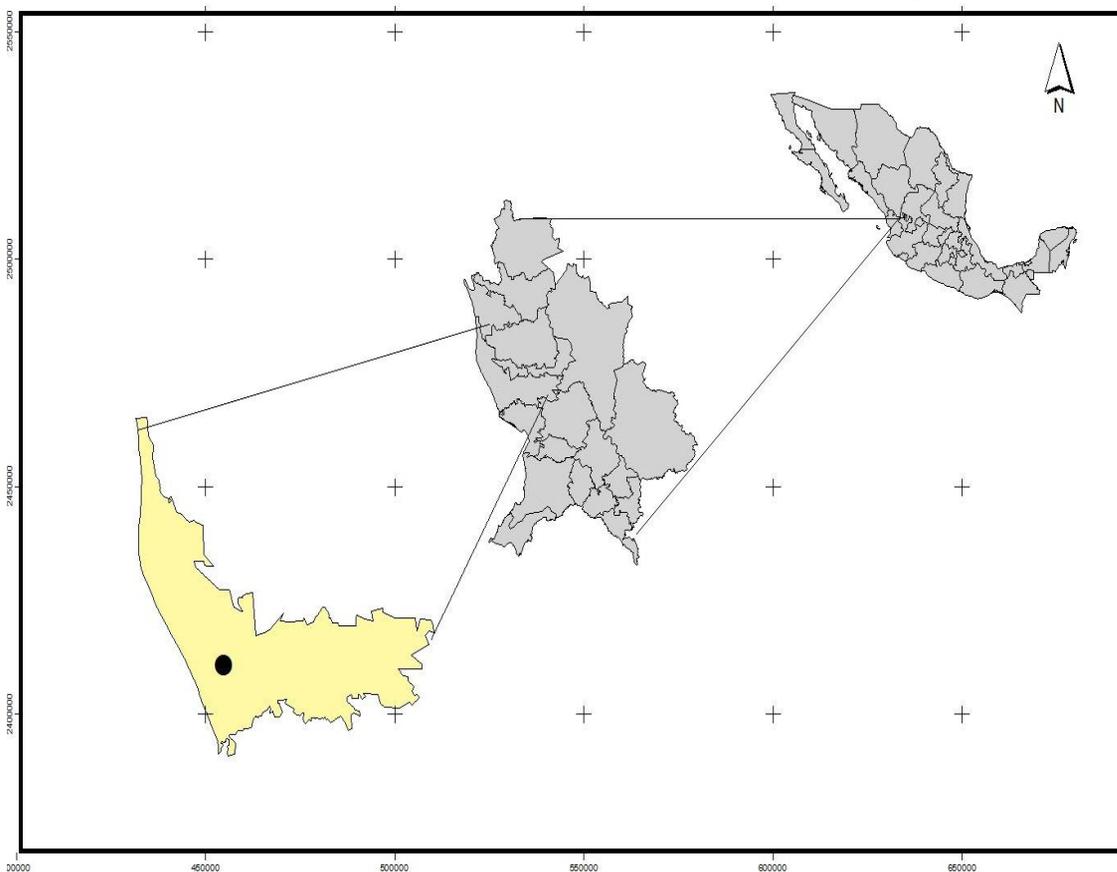


Figura 1. Localización del área en estudio del sistema silvopastoril localizado al Norte del Estado de Nayarit, México.

las cuales se sembraron a una distancia de cuatro metros entre cada árbol.

Se realizó un perfil a una profundidad 1 m, tomando cinco muestras, una por horizonte de diagnóstico, en el cual se hizo el análisis de infiltración edáfica (IE), por el método del doble anillo de Kostiaikov (Fernández *et al.*, 1971) y la densidad aparente (Da).

El análisis de las muestras consistió en determinar el contenido de materia orgánica (MO), la cual se basó en la norma oficial mexicana NOM 021 RECNAT 2000; textura por Bouyoucos; Da por el método del cilindro; densidad real (Dr) por picnómetro; porosidad total (Pt) mediante la fórmula $Pt = (1 - (Da/Dr) \times 100)$; porosidad aireación (Pa) por cálculo a partir de la porosidad total (Pt) menos la capacidad de campo (CC) (Page *et al.*, 1982).

La toma de la muestra compuesta del suelo, para la determinación de MO se realizó cada seis meses durante cinco años. Se determinó la Da por triplicado de manera sistemática en cada repetición, a una profundidad de 0-5, 0-10 y 0-20 cm por cada muestra compuesta experimental; la profundidad fue de 0-20 por coincidir con el espesor del horizonte A del suelo (Prause *et al.*, 2000). El monitoreo para la influencia positiva del sistema agroforestal se realizó bajo la copa de los árboles y entre las líneas de los árboles para el diseño experimental completamente aleatorio con 2 repeticiones por año.

Los datos fueron analizados mediante procedimiento estándar ANOVA para un diseño estadístico con dos repeticiones siendo las variables MO y Da. Se hizo una correlación y la comparación de medias de acuerdo con un test de Tukey.

Cuadro 1.
Descripción del perfil estudiado de la Llanura Costera Norte, de Santiago Ixcuintla Nayarit, México.

Horizonte	Prof., cm.	Descripción
A _{1p}	0 – 13	Color 7.5YR(5/1) gris en seco, 7.5YR(2.5/2) pardo oscuro en húmedo, franco arcilloso a arcilloso, con bloques prismáticos de 8-10 que se desmenuzan en una estructura de bloques más pequeños (2-3 cm), con manchas de color pardo rojizo, seco en la superficie, pero por debajo de 5 cm es ligeramente húmedo, poco poroso, compactado, no reacciona al HCl, transición brusca.
A ₁₂	13 – 34	Color 5YR(2.5/2) pardo rojizo en húmedo, franco arcilloso a arcilloso, con bloques subangulares de 2-3 cm que se desmenuzan en una estructura granular, friable, muy poroso, medianamente húmedo, sin reacción al HCl, transición gradual.
B	34 – 67	Color 7.5YR(3/1) gris oscuro en húmedo, arcilloso, estructura bloques subangulares (0.5-1 cm), friable, muy poroso, más húmedo, sin reacción al HCl, transición neta.
IIA	67 – 89	Color 10YR(2/1) negro en húmedo, franco arcilloso a arcilloso, con bloques subangulares de 2-3 cm, ligeramente compactado, medianamente poroso, húmedo, con algunas gravas pequeñas de color blanco y manchas de color 7.5YR(4/6) pardo fuerte, sin reacción al HCl, transición neta.
IIC	89 - 100	Color 10YR(3/2) pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, franco, con bloques angulares de 2-4 cm, muy friable, muy poroso, con muchas gravas pequeñas y cristales que brillan (mica y/o vidrio volcánico), mojado, sin reacción al HCl.

El suelo está clasificado como Fluvisol haplico, de acuerdo con IUSS Working Group WRB, (2008), si bien la proporción de los minerales primarios (y su tamaño) y la proporción de arcillas (y su mineralogía) es importante en la determinación de las propiedades físicas y químicas de un suelo, la textura del suelo (Cuadro 2), tiene su mayor influencia en la cantidad de agua útil para la planta (Wild, 1992).

Resultados y Discusión:

El sistema agroforestal estudiado tiene un aporte anual de cobertura vegetal de $13.5 \text{ mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los cuales se consideran elevados de acuerdo con el análisis de Aguirre *et al.*, (2009), lo que concuerda con otros investigadores como Montagnini *et al.*, (1995), y son suficiente para modificar algunas propiedades edáficas del sitio y mostrar diferencias en su Da (Prause, 2000; Prause,

2003; Palma *et al.*, 1998). Por lo tanto la Da es una propiedad que está en relación directa con el contenido de carbono y de MO del suelo (Tejada y González, 2008).

En el cuadro 1, se observa que el horizonte A se perdió por el efecto de la agricultura intensiva; en el área de estudio se presentan bloques prismático a bloque subangulares con pocos poros y compacto con una transición brusca.

Cuadro 2.
Composición mecánica y clase textural del perfil estudiado.

Horizonte.	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
A _{1p}	0 – 13	29.12	18.0	52.88	Arcilla
A ₁₂	13 – 34	31.12	18.0	50.88	Arcilla
B	34 – 67	31.12	26.0	42.88	Arcilla
IIA	67 – 89	29.12	22.0	48.88	Arcilla
IIC	89 - 100	31.12	44.0	24.88	Franco

A partir de los resultados del análisis de composición mecánica, se determinó la clase textural predominante la cual fue arcilla, lo que demuestra que la textura no cambia. Son propiedades que cambian en un tiempo mayor de 1,000 años de acuerdo con Varallayay (1990) y Montiel (2000), sin embargo aun cuando la textura no cambia, esta es importante. West y Marland (2003) afirman la influencia de la textura del suelo en la dinámica de la materia orgánica de

suelo (MOS) la cual se incrementa en suelos arcillosos y que existe una relación positiva entre las arcillas (textura fina) y los contenidos de la MOS.

En el cuadro 3, se presentan los resultados de las propiedades físicas, en el se deduce una relación inversa en el contenido de MO edáfica y la Da (al incrementarse el contenido de MO, la Da disminuye, esto trae como consecuencia un aumento en la Pt, CC, Pa y

Cuadro 3.
Resultados por año de la determinación física del suelo en los primeros 20 cm.

Año	Textura	MO (%)	Da $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Pt (%)	Pa (%)	CC (%)	vel.Inf. mm/h
2005	Arcillosa	0.51	1.43	45.1	20.8	24.3	13.08
2006	Arcillosa	0.86	1.36	47.6	21.5	26.1	16.05
2007	Arcillosa	1.25	1.31	49.6	21.7	27.9	18.44
2008	Arcillosa	1.48	1.24	52.3	21.8	30.5	19.01
2009	Arcillosa	3.49	1.20	53.8	22.0	31.8	19.07
2010	Arcillosa	3.85	1.06	58.0	22.1	35.9	20.03

MO=materia orgánica; Da ó Dv=densidad aparente; Pt= porosidad total; Pa= porosidad de aireación; LSHP ó CC= límite superior de humedad productiva ó capacidad de campo; vel. Inf=velocidad de Infiltración.

una mejora en la velocidad de infiltración) lo que concuerda con Kay y VandenBygaart (2002).

Con respecto a la D_r del suelo, ésta no varía en el sistema agroforestal estudiado, alcanzando un valor promedio de $2.60 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Este valor es considerado por Ingelmo *et al.*, (1988) el cual es el valor medio para un horizonte superficial de un suelo agroforestal. Los valores de D_a de 1.06 después de seis años se pueden considerar como bajos, coincidiendo con lo reportado por Gallardo *et al.*, (1980a), quien afirma que los valores usuales de D_a de los suelos agroforestales son generalmente inferiores a los suelos agrícolas. La densidad aparente está influenciada por el contenido de las diferentes fracciones orgánicas y minerales del suelo, incluyendo el espacio ocupado por el aire, por lo que sus mediciones están relacionadas con la porosidad y por la estructura del suelo. No obstante, los contenidos de MO del suelo, deben ser el factor con mayor peso para explicar, la variabilidad hallada en la D_a .

Gallardo y González (1983); así como Cooper *et al.*, (2005) encontraron una buena relación entre el contenido de materia orgánica edáfica y la D_a . En este estudio se presentó una correlación de -0.93 entre MO y D_a . Además, la P_t calculada de los suelos agroforestales estudiados, arrojaron valores promedios de 51.06 %, (P_t , nos permite calcular el grado de saturación de un suelo, y el porcentaje de humedad) lo que concuerda con la cantidad y la naturaleza de la materia orgánica del suelo (Sustaita *et al.*, 2000). Se considera, que la P_t está constituida por una macroporosidad utilizada para la circulación del agua y del aire y por una microporosidad que almacena agua. Estos suelos presentan valores más altos en comparación de suelos dedicados al uso agrícola (Ascanio *et al.*, 2007). A tal efecto, se determinó la humedad equivalente a la CC, arrojando valores promedio de 35.9 %, para el 2010, que indican valores relativamente bajos de microporosidad. Así se demuestra como el régimen hídrico ha cambiado en los suelos de diferentes ecosistemas tropicales (Ascanio *et al.*, 2007).

Al comparar los valores para materia orgánica, entre el año 2005 y el 2010 (0.51 y

3.85 respectivamente) el cual presentó diferencia significativas ($p < 0.05$), se observó un incremento que puede ser interpretado como el mejoramiento del ecosistema agroforestal, esto es referente al contenido de materia orgánica en el horizonte A y el espesor de éste que influye decisivamente en las propiedades del suelo, además, que en este horizonte se presenta la principal masa de raíces finas, lo cual ha sido señalado por Schlatter (1991).

Así puede afirmarse que los valores de MO del suelo y de la D_a presentes en el sistema agroforestal, mejora la estructura del suelo en los primeros 20 cm lo que concuerda también con lo obtenido por Prause *et al.*, (2000).

Los valores de la densidad aparente oscilaron en un rango de 1.43 y $1.06 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ los primeros se pueden considerar altos para suelos agroforestales, y el valor de $1.06 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ puede considerarse bajo después de 6 años de implantado el sistema agroforestal, esto demuestra una mejora en su D_a , en el cual existen diferencias significativas entre los años 2005 y 2010 ($p < 0.05$).

La porosidad total detectada en todos los casos varió de 45.1 % y 58 %. Teniendo un incremento de un 13 %, esto trae una mejora en la P_a de un 1.2 %. Con respecto a los valores esto lleva a un aumento en la capacidad de retención de humedad.

Con respecto a la velocidad de infiltración del agua en suelo, se muestra una mejora en su infiltración de 13.08 a $20.03 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ esto significa una mejora en su estructura superficial y un aumento en su P_t . Los datos analizados reflejan que las diferencias entre las propiedades físicas del suelo, se deben al aporte de hojarasca proveniente de las distintas especies agroforestales consideradas, que a su vez, originan diferencias en los porcentajes de materia orgánica edáfica de 0.51 a 3.85. Como consecuencia de ello, una mejora en su estructura y esto a su vez un incremento del movimiento del agua y del aire en el suelo, también incrementando el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS).

Con los resultados obtenidos, puede decirse que en el sitio estudiado el incremento de la MO ha propiciado cambios en la

estructura del suelo al aumentar la velocidad de infiltración y mejorando la Da, Pt, Pa y capacidad de retención de humedad.

Literatura citada

- Aguirre OJ, Hernández JA, Bojórquez SI, Gómez DA, Lemus FC, Ramos QA *et al.* Efecto edafoclimático en el desarrollo de módulos de agroforestería y silvopastoril en la Llanura Costera de Nayarit, México. *Zootecnia Tropical* 2009; 26: 309-313.
- Alonso J, Sampaio R, Febles G, Achang G. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente *Revista Ciencias Agrícolas*, Cuba San José de las Lajas. La Habana. 2007; 41: 189-192.
- Ascanio MO, Hernández A, Cid G, Gómez I. Sector de Referencia de 65 ha en el Ejido Ojo de Agua, para las medidas de riego y drenaje en caña de azúcar. Ingenio Motzorongo, Veracruz, México, 2007, Asociación de Técnicos Azucareros de México., Veracruz, México.
- Bojórquez I, Hernández A, García D, Nájera O, Flores F, Madueño A *et al.* Características de los suelos Cambisoles y Fluvisoles de la llanura costera norte de Nayarit, Mexico. *Revista cultivos Tropicales*, INCA, Cuba 2006; 27: 4.
- Cooper MP, Vidal-Torrado P, Chaplot V. Origin of microaggregates in soils with ferrallic horizons. *Science Agriculture (Piracicaba, Braz.)* 2005; 62: 256-263.
- Contreras EF, Las lagunas costeras mexicanas. 2ª edición. México: CECODES-SEPESCA, 1988.
- Curry JF, Emmel F, Crampton P. "Holocene history of strand plain, lagoonal coast, Nayarit. México", 1969.
- Duchaufour Ph, Souchier B. Edafología. 2 Constituyentes y Propiedades del Suelo. Masson, Barcelona, 1987. 461.
- Fernández PC, Luque JA, Paoloni JD. Análisis de la Infiltración y su aplicación para diseños de riego en el Valle Inferior del Río Colorado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Argentina 1971. 29.
- Gallardo JF, Cuadrado SS y Rodríguez JA. Suelos Forestales de El Rebollar (Salamanca) II. Propiedades y Conclusiones. *Anu. Cent. Edaf. Biol. Apli. Salamanca* 1980; 6: 214-228.
- Gallardo JF, Cuadrado SS y L. Prat. Características de los suelos forestales de la sierra de Gata. *Studia Oecológica* 1980; 1: 241-264.
- Gallardo JF, González MI. Suelos forestales de El Rebollar. III: Nuevas aportaciones. *Anu. Cent. Edaf. Biol. Apli. Salamanca*, 1983; 9: 223-232.
- Hernández A, Ascanio MO, Morales M, Bojórquez JI, García NE, García D. Fundamentos de la formación del suelo, cambios globales y su manejo. Editorial Universidad Autónoma de Nayarit, México, 2006: 15-25.

- Hernández A, Ascanio MO, Cabrera A, Morales M, Medina N. Problemas Actuales de Clasificación de Suelos: énfasis en Cuba. Editorial Universidad de Veracruz, México, 2004. 221.
- Ingelmo SF, Cuadrado SS. El agua y el medio físico del Suelo. Cent. Edaf. Biol. Apli. Salamanca, 1986.101.
- Ingelmo, F, Cuadrado S, Hernández J.: Características hidrofísicas de suelos de la zona N. E. de la provincia de Salamanca. Anu. Cent. Edafol. Biol. Apli. Salamanca, 1988; 13:171-187.
- IUSS, Working Group WRB. Base Referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos. FAO, ISRIC, 2008; ISBN 978-92-5-305511-1. 117.
- Kay BD, VandenBygaart AJ. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. Soil & tillage research 2002; 66: 107-118.
- Kumar A, Kafle N. Land degradation issues in Nepal and its management through agroforestry. Journal Agricultural and Environment, 2009; 10: 115-123.
- Lal R. Physical management of soil of the tropic: priorities for the 21 st century. Soil Science 2000; 165: 191-207.
- Montagnini F, Fanzeres A, Guimaraes VS. Estudios de restauración en la Región del Bosque Atlántico de Bahía, Brasil. 1995; 6: 5-12.
- Montiel N. Bases del enfoque ecosistémico para la restauración ambiental. Instituto Nacional de Ecología, UNAM, Morelia, Michoacán México 2000.
- NOM-021-RECNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación. Estudios de suelos, muestreo y análisis. México, Distrito Federal.
- Oldeman IR, Van VW, Pulles JR. The extent of human induced soil degradation. ISRIC, Wageningen. The Netherlands, 1990.
- Page AL, Miller RH, Keeney DR. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical Properties Second Editions. Madison, Wisconsin, USA, 1982
- Palma RM, Prause J, Fontanive AV, Jiménez MP. Litter fall and litter decomposition in a forest of the parque Chaqueño Argentino, 1998; 106: 205-210.
- Prause J. Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y los nutrientes en un monte nativo del Parque Chaqueño Húmedo. Th. Magister Scientiae; Universidad Nacional de Buenos Aires 2003. 39-45
- Prause J, Gallardo LF. Influencia de cuatro especies nativas sobre las propiedades físicas de un suelo forestal del parque Chaqueño Húmedo (Argentina), 2000.
- Pritchett WL. Suelos forestales y propiedades, conservación y mejoramiento. Noriega: Editorial Limusa, 1986.

- Schlatter J. Fertilidad del suelo, concepto y su aplicación a la producción forestal. De la Ciencia del Suelo, San Carlos de Bariloche, Argentina, 1991.
- Shibu J. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agroforestry systems, 2009; 76: 1-10.
- Sustaita F, Ordaz V, Ortiz C, De León F. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de la región semiárida debido al uso agrícola. Agrociencia 2000; 34: 379-386.
- Tejada M, Gonzalez JL. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. Geoderma, 2008; 145: 325-334.
- Varallyay G. Types of soil processes and changes. In Global Soil Change Int. Inst. for Applied System Analysis, Laxemburg, Austria, 1990. 41- 62.
- West TO, Marland G. Net carbon flux from agriculture: Carbon emissions, carbon sequestration, crop yield, and land-use change. Biogeochemistry 2003; 63: 73-83.
- Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa, 1992.