

CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES EDAFOLÓGICAS EN EL TIEMPO EN UN BOSQUE TEMPLADO DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO CHANGES IN SOIL PROPERTIES IN THE TIME IN A TEMPERATE FOREST OF STATE OF HIDALGO, MEXICO

María del Socorro Fuentes-Andrade

Posgrado en Ciencias Ambientales, Área Académica de Química

Otilio Arturo Acevedo-Sandoval

Enrique Cruz-Chávez

Profesor-Investigador del Área Académica de Ciencias de la Tierra y
Materiales

Elena María Otazo-Sánchez

Alma Delia Román-Gutiérrez

Profesor-Investigador del Área Académica de Química; Universidad
Autónoma del Estado de Hidalgo

Abstract

Changes in soil properties were evaluated in a temperate forest located in the town of San Mateo Acaxochitán, Hidalgo, Mexico. Soil samples were taken at four depths in two periods (2004, S-04 and 2011, S-11) to the results we applied the principal component analysis, the component one explained 51 % of variance; presented positive correlation between the variables S-04K, S-11NT, S11CO, S-04NT and S-04CO (group a), S-11pH_{act}, S-04Da, S-04Ca, and S-04Mg (group b) and negative correlation between the variables: S-11Da, S-11Al_{int}, S-11Dr, S-11Ac_{int}, and S-11PT (group c), and S-11C/N and S-04C/N (group d). The component two explained 31 % of variance, presented positive correlation between the variables: S-11PT, S-11Ac_{int}, S-04Mg, and S-04Ca (group c) and negative correlation between S-04C/N and S-11C/N (group d). The analysis of variance showed that the soil variables that showed significant differences (≤ 0.05) between the S-04 and S-11 were: PT, Dr, pH_{pot}, Ac_{int}, N_T, K⁺ and Ca²⁺.

Keywords: *Soil, soil organic carbon, principal component analysis*

Resumen

Se evaluaron los cambios de las propiedades edafológicas en un bosque templado localizado *en el municipio de San Mateo Acaxochitán, Hidalgo, México*. Las muestras de suelo se tomaron a cuatro profundidades, en dos periodos (2004, S-04 y 2011, S-11); a los resultados se les aplicó el análisis de componentes principales, el componente uno explicó el 51 % de la varianza; presentó correlación positiva entre las variables S-04K, S-11NT, S-11CO, S-04N_T y S-04CO (grupo a), S-11pH_{act}, S-04Da, S-04Ca, y S-04Mg (grupo b) y correlación negativa entre las variables: S-11Da, S-11Al_{int}, S-11Dr, S-11Ac_{int}, y S-11PT (grupo c), y S-11C/N y S-04C/N (grupo d). El componente dos explicó el 31 % de la varianza, presentó correlación positiva entre las variables: S-11PT, S-11Ac_{int}, S-04Mg, y S-04Ca (grupo c) y correlación negativa entre S-04C/N y S-11C/N (grupo d). El análisis de varianza mostró que las variables edafológicas que presentaron diferencias significativas (≤ 0.05) entre el S-04 y S-11 fueron: PT, Dr, pH_{pot}, Ac_{int}, N_T, K⁺ y Ca²⁺.

Palabras clave: Suelo, carbono orgánico del suelo, análisis de componentes principales

Introducción

El manejo desorganizado en la producción de alimentos y productos para la sociedad en los agroecosistemas, ha originado en mayor o menor medida cambios y deterioro en las propiedades edafológicas (físicas, químicas y biológicas), con efecto sobre la productividad y producción en general (Lal, 2000). El estudio sobre los cambios en las propiedades edafológicas se lleva a cabo a través del tiempo, al tener como referencia al ecosistema natural (Medina-Méndez et al., 2006). El carbono (C) es un componente básico fundamental para la vida, el equilibrio de este elemento en la tierra está en función de cuatro reservorios: el océano, la atmósfera, el sistema terrestre: biomasa-vegetación y carbono orgánico del suelo (COS) y el reservorio geológico (Eswaran et al., 1993; Sandoval et al., 2003). Estos reservorios se encuentran en un equilibrio dinámico, cada uno interactuando e intercambiando C uno con el otro. El COS constituye el 80% del C terrestre (Bolin & Sukumar 2000; Heredia et al., 2006). Se estima que el total de C acumulado en los suelos de todo el mundo es mayor a la suma del que existe en la atmósfera y en la vegetación (Vergara et al., 2004). Esta estimación global presenta: i) alta variabilidad espacial; ii) una estimación relativa de las áreas ocupadas por distintos tipos de suelo y iii) efectos de la vegetación y cambios de uso de suelo (Sandoval et al., 2003) que afecta a la mayoría de sus propiedades edafológicas vinculadas con su: a) calidad

(Wander et al., 2002), b) sustentabilidad (Acevedo y Martínez, 2003) y c) capacidad productiva (Sánchez et al., 2004). El COS se puede emplear como un indicador de la calidad del suelo y es un importante factor en el cambio climático global (Zobeck et al., 2006). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) por sus siglas en inglés, en 2002 reportó que el C almacenado en los suelos forestales representa el 36% del total del COS a un metro de profundidad (1 500 Pg). Vergara et al. (2004) cuantificaron el COS de ladera en tres regiones de la Sierra Norte de Oaxaca, concluyeron que el porcentaje medio de COS en éstas presentaron diferencias significativas que se atribuyeron al uso actual del suelo, al historial y a las condiciones climáticas de cada región. Jandl et al. (2004) determinaron en suelos de la zona de Weilhartsforst (norte de Austria) que el calcio intercambiable disminuye en un periodo de 15 años y la saturación de bases decreció del 25 al 5%. Medina-Méndez et al. (2006) evaluaron en Luvisoles de Campeche, los cambios ocurridos en algunas propiedades físicas y la MOS a lo largo de un período de 30 años, en los sistemas de maíz bajo temporal (SMT), mango bajo riego (SMR) y como referencia el sistema de vegetación natural (SVN), concluyeron que la MO disminuyó en el SMT y se incrementó en el SMR, la Da no varió con el tiempo en los tres sistemas; mientras que la Dr y PT manifestaron escasa variación con el tiempo. Lozano et al. (2010) evaluaron el cambio en las propiedades químicas en un Typic plinthustults ubicado en las sabanas del estado de Guárico, Venezuela; se usaron los cultivos de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM), los cuales fueron comparadas con la vegetación de la sabana natural (SN) y concluyeron que se presentaron diferencias significativas en las propiedades evaluadas [pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), COS, N, P y S disponibles] con excepción del aluminio e hidrógeno intercambiable. Cuando una determinada cualidad del suelo se relaciona con muchas de sus propiedades, se deben seleccionar aquellas más relevantes. Técnicas geoestadísticas multivariadas pueden suministrar medidas cuantitativas de interacciones complejas entre propiedades y son particularmente útiles para formular hipótesis sobre qué causa específicamente la variabilidad (Bourennane et al., 2004; Jaramillo et al., 2011). Por lo anterior el objetivo fue evaluar los cambios en las propiedades edafológicas en el tiempo en un bosque templado del estado de Hidalgo, México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un *suelo forestal bajo Quercus spp. localizado en el municipio de San Mateo Acaxochitán, Hidalgo, México (20° 11' N y 98° 14' O)*, dentro de la provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana del Cenozoico y ambiente geotectónico de arco continental

(Ortega et al., 1992), a una altura promedio de 2255 msnm. El clima es templado húmedo con abundantes lluvias en verano; tiene una precipitación anual de 1200 mm y una temperatura promedio de 15.5 °C (DOEH, 2001). La geología de la zona está constituida por rocas basálticas del periodo terciario, compuestas por fenocristales de olivino (20 %), augita (10 %), óxidos de Fe-Ti (5 %) y andesina (3 %), el resto lo constituye la matriz, representada por un intercrecimiento de microfenocristales de andesina y augita (Castro-García & Córdoba 1994; INEGI, 1997). El suelo de la zona se clasifica como un Alisol Cutánico, Úmbrico (Hiperdístico, Cláyico) (Acevedo-Sandoval et al., 2010), con un régimen de humedad údico y régimen de temperatura mésico (Soil Survey Staff, 1999). Se tomaron las muestras del suelo en 2004 (S-04) y en 2011 (S-11), en base a un estudio previo de fotointerpretación, utilizando fotografías aéreas verticales, pancromáticas, blanco y negro, escala 1 : 30,000 y material cartográfico de apoyo (Van Zuidam, 1979; Acevedo-Sandoval et al., 2010) y recorridos por la zona donde se seleccionaron tres áreas representativas y de cada una de ellas se colectaron cuatro submuestras por cada profundidad: 0 - 5, 5 - 20, 20 - 40 y 40 - 60 cm y con cada una se formó una muestra compuesta (Rampazzo 1992; Sandoval-Estrada et al., 2008). Éstas se enviaron al laboratorio de Geología ambiental de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) donde secaron al aire, pasaron por un tamiz de malla 2 mm y homogenizaron. Las determinaciones realizadas fueron: Dr, textura, pH medido en agua y en KCl (1 : 2.5), acidez y aluminio intercambiable (Ac_{int} , Al_{int} , respectivamente) y COS (métodos: AS-04, AS-09, AS-02, AS-24, AS-33 y AS.07 de la NOM-021-SEMARNAT-2000, respectivamente), Da por el método de probeta (Gandoy, 1992), PT a través de la ecuación $[1 - (Da/Dr)] * 100$ (Skopp, 2000), la ΔpH por diferencia entre el pH medido en KCl y en agua, bases intercambiables por el método de acetato de amonio (Aguilar, 1987), analizadas por colorimetría (Ca^{2+} y Mg^{2+}) y por espectrofotometría de emisión atómica (Jenway, modelo PFP 7) para K^+ y Na^+ . Con la suma de los cationes básicos y Al_{int} se obtuvo la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). A través del porcentaje de MOS se calculo el nitrógeno total (N_T). A los resultados se les realizó el análisis de varianza ($p \leq 0.05$) y un análisis multivariado de componentes principales (ACP). El programa utilizado fue IBM SPSS Statistics versión 20.

Resultados

Las propiedades edafológicas que presentaron diferencias significativas (≤ 0.05) entre el S-04 y S-11 fueron: PT, Dr, pH_{pot} , Ac_{int} , N_T , K^+ y Ca^{2+} . Los valores medios de las propiedades físicas y químicas aparecen en la Tabla 1 y 2, respectivamente.

Tabla 1. Valores medios de las propiedades físicas del suelo forestal de tres áreas seleccionadas

Prof. cm	PT %	Arcilla %	Da kg m ⁻³	Dr kg m ⁻³	Clase textural
S-04.					
0-9	46.60	22	1.10	2.06	Franca
9-37	46.04	24	1.09	2.02	Franco-arcilloarenosa
37-50	50.47	40	1.06	2.14	Arcillosa
>50	51.10	10	0.89	1.82	Franco arenosa
S-11					
0-5	49.08	39.20	0.65	1.30	Franco arcillosa
5-20	59.93	10.80	0.78	1.96	Franco arenosa
20-40	59.09	27.10	0.87	2.14	Franca
40-60	58.84	49.80	0.88	2.15	Arcillosa

PT: porosidad total; Da: densidad aparente; Dr: densidad real.

La Da vario de 0.65 (S-11) a 1.1 kg m⁻³ (S-04), mientras que los valores de Dr variaron de 1.3 a 2.15 kg m⁻³ (ambos localizados en el S-11); los dos tipos de densidades aumentan con la profundidad en el S-11 y disminuyen en el S-04. Los porcentajes de PT variaron de 46.04 (S-04) a 59.93 (S-11). Esta propiedad aumenta con la profundidad en ambos suelos. El porcentaje de arcilla vario de 10 (S-04) a 49.8 (S-11), en el primer suelo el porcentaje descendió con la profundidad y en el segundo suelo aumento. Las textura de clase media (Franco arenosa, Franco arcillosa y Franca) y fina (Arcillosa) predominaron en los suelos de estudio.

Los valores de acidez activa y potencial variaron de: 4.01 (S-11) a 6.70 (S-04) y de 3.47 (S-11) a 5.61 (S-04), respectivamente; esta propiedad disminuye con la profundidad en los dos suelos. La cantidad de acidez y aluminio intercambiable vario de 0.78 (S-04) a 7.57 Cmol(+) kg⁻¹ (S-11) y de 0.55 (S-04) a 5.58 Cmol(+) kg⁻¹ (S-11), respectivamente. El porcentaje de N_T vario de 0.01 (S-04) a 1.08 (S-11), disminuye con la profundidad. Los porcentajes de CO variaron de 0.79 (S-04) a 12.56 (S-11), disminuyen con la profundidad. El contenido de Ca²⁺ vario de 0.27 a 19.49 Cmol(+) kg⁻¹ (ambos localizados en el S-04), este catión predomino entre los cationes de cambio, seguido de Mg²⁺, K⁺ y Na⁺. El contenido de la CICE en la superficie del S-11 fue de 21.77 Cmol(+) kg⁻¹ disminuye hasta los 40 cm e incremento a mayor profundidad.

Tabla 2. Valores medios de las propiedades químicas del suelo forestal de tres áreas seleccionadas

Prof. cm	pH 1:2.5		pH	Ac _{int} Cmol(+) ₋₁ kg	Al _{int} kg	CO %	N _T %	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺ Cmol(+) ₋₁ kg	Mg ²⁺ Cmol(+) ₋₁ kg	CICE
	act	pot	□									
S-04												
0-9	6.25	4.53	-1.72	0.84	0.55	2.22	0.19	1.31	2.06	16.84	3.09	nd
9-37	6.62	5.61	-1.01	0.78	0.58	0.79	0.07	0.68	1.14	19.49	3.83	nd
37-50	6.7	4.9	-1.8	0.82	0.56	1.22	0.11	1.34	1.14	12.55	2.3	nd
>50	5.52	4.23	-1.29	0.82	0.56	0.08	0.01	0.83	0.2	0.27	0.09	nd
S-11												
0-5	4.51	3.62	-0.89,	3.47	2.83	12.5	1.08	0.03	0.04	17.01	1.22	21.77
5-20	4.51	3.62	-0.89	6.17	4.85	7.19	0.62	0.03	0.02	3.31	1.32	10.84
20-40	4.33	3.47)	-0.86	7.57	5.32	3.05	0.26	0.05	0.01	1.49	0.69	11.37
40-60	4.01	3.49	-0.53	6.60	5.58	1.91	0.16	0.03	0.01	6.27	1.32	17.4

pH_{act}: pH activo; pH_{pot}: pH potencial; Ac_{int}: acidez intercambiable; Al_{int}: aluminio intercambiable; CO: carbono orgánico; N_T: nitrógeno total; CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva; y nd: no determinado.

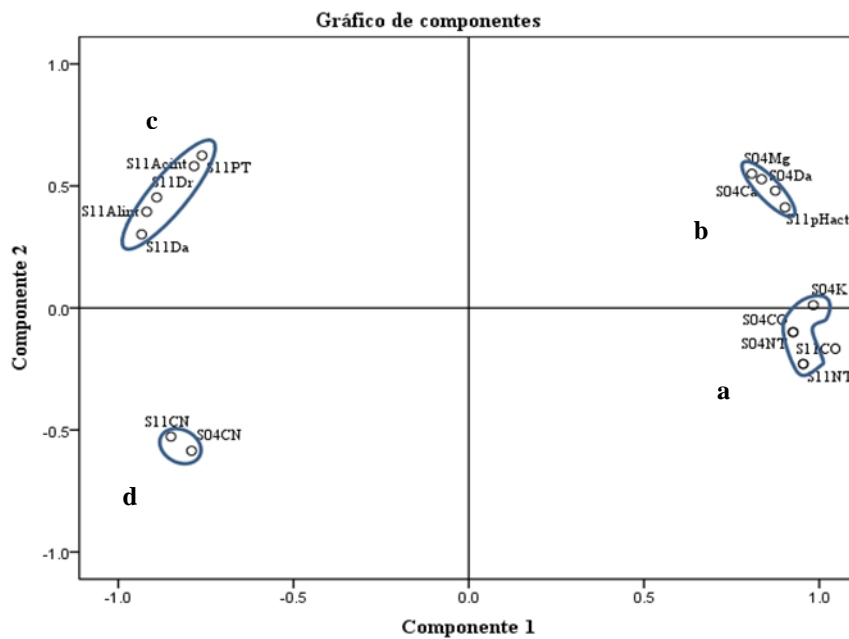


Figura 1. Plano principal (CP1-CP2) de las propiedades edafológicas del S-04 y S-11.

La Figura 1 muestra las variables edafológicas que mayor correlación tuvieron entre ellas. El componente uno explicó el 51 % de la varianza; presenta correlación positiva entre las variables S-04K, S-11N_T, S-11CO, S-04NT y S-04CO (grupo a) S-11pH_{act}, S-04Da, S-04Ca, y S-04Mg (grupo b) y correlación negativa entre las variables: S-11Da, S-11Al_{int}, S-11Dr, S-

11Acint, y S-11PT (grupo c) y S-11C/N y S-04C/N (grupo d). El componente dos explico el 31 % de la varianza, presento correlación positiva entre las variables: S-11PT, S-11Ac_{int}, S-04Mg, y S-04Ca (grupo c) y correlación negativa entre S-04C/N y S-11C/N (grupo d). En general, el grupo a tuvo estrecha relación positiva con el grupo b, ausencia de relación con el grupo c y estrecha relación negativa con el grupo d. El grupo b mostro ausencia de relación con el grupo c y estrecha relación positiva con el grupo d. Mientras que el grupo c mostro ausencia de relación con el grupo d.

Discusión

La baja Da y la alta porosidad localizada en los suelos, indican que no poseen problemas de compactación, tienen una estructura que favorece a una mayor disponibilidad de oxígeno y espacio para los microorganismos que se encargan de la mineralización del COS (FAO 2002; Aguilar-Arias et al., 2011). Los valores de Dr por debajo del promedio (2.65 kg m^{-3}) indican la presencia de COS y de aluminosilicatos no cristalinos (Jaramillo, 2002). Los contenidos de arcilla observados en la subsuperficie del S-11 indican procesos de eluviacion e iluviación. La arcilla presente en los suelos, permite adsorber cationes, tener un moderado nivel de humedad, reduce la tasa de degradación del COS, al quedar menos accesible al ataque de enzimas microbianas (Mendiara, 2012).

En términos generales, el pH del suelo forestal es fuertemente ácido según la NOM-021-SEMARNAT-2000. Aún así, esta dentro del rango de pH de estos suelos (3.5 a 6.5) (Pritchett, 1990), los procesos naturales de acidificación incluyen: absorción de cationes, lavado natural por ácidos carbónico, nítrico u orgánico, formación de humus (Broquen et al., 2002), hidrólisis del CO₂ proveniente de la respiración de los microorganismos, hidrólisis de sales de cationes metálicos, efecto de los grupos OH de las láminas de los aluminosilicatos (Zapata, 2006; Acevedo-Sandoval et al., 2010) y la nitrificación (Urrego, 1997). Una de las causas es la precipitación, la cual aumenta el proceso de lixiviación de cationes de cambio y prevalece el aluminio como elemento acidificante (Combatt et al., 2004). Los valores negativos de

1993), donde los materiales coloidales presentes están cargados negativamente, tienen cationes como iones compensadores, predomina así el intercambio catiónico (Broquen et al., 2002). El contenido de Al intercambiable del S-11 es superior a $1.5 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$, ocasionando posibles problemas de toxicidad para la flora del lugar, aunque algunas especies poseen cierto grado de tolerancia a este elemento (Castellanos et al., 2000). El porcentaje de COS encontrado de los 0 – 20 cm en el S-11, >6 % (según la NOM-021-SEMARNAT-2000) aumenta su estructuración (Lorenz, 1995), reflejada en un medio ambiente propicio para la penetración radicular

□pH indican

y una alta fertilidad natural (Castellanos et al., 2000; Fuentes, 2009), se mejora la dinámica y biodisponibilidad de los macro y micro elementos a las plantas (FAO, 2002), proporciona energía a los microorganismos, favorece la capacidad de almacenamiento de agua (López-Hernández et al., 2008), otorga al suelo una capacidad de tamponamiento, adecuada para favorecer la adsorción e intercambio de cationes (Fernández, 2004) e inferir en la movilidad de elementos (Lorenz, 1995) al formar complejos organominerales (órgano-metálicos o arcillo-humicos; Manjaiah et al., 2010). El contenido de N_T fue de muy bajo a muy alto, según la NOM-021. Los bajos niveles de Ca^{2+} presentes en el S-11 tienen escasa repercusión sobre el bosque, porque los árboles pueden cubrir sus necesidades de Ca^{2+} mediante la disolución de las rocas (Landeweert et al., 2001; Blum et al., 2002). Los valores de la CICE superiores a $4 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ sugieren suficiente CIC en el suelo, el cual previene considerables pérdidas de cationes por lixiviación (Sánchez, 1976); esta CIC, caracteriza una fracción de cationes en forma accesible para las plantas y representa un buffer contra la acidificación (Lorenz, 1995).

Análisis de componentes principales (ACP)

La correlación encontrada entre CO y K^+ refiere que si hay bajos niveles del primero los habrá del segundo (K cambiante, Kc), provocado por el poco desarrollo de la vegetación y consecuentemente, al escaso aporte de restos de material vegetal al suelo (Peña et al., 2005). Cuando en el suelo hay disminución de cationes básicos, el complejo de cambio se satura con H^+ (Jandl et al., 2004), que al aumentar su concentración en el suelo, le confiere características ácidas (Urrego, 1997); lo anterior explica la correlación localizada entre el pH_{act} , Ca y Mg. Los valores de la Da y Dr permiten calcular el porcentaje de PT, esto explica la correlación positiva significativa. Además, la Da depende de la porosidad y puede adquirir valores muy variables, aún en un mismo tipo de suelo afectado por las actividades de manejo y la cantidad de CO (Brady & Weil, 2002).

Si hay en el suelo altas cantidades de CO habrá bajos valores de densidad, esto explica la relación estrecha negativa entre algunas de las variables del grupo a y c. Cuando el suelo tiene alto contenido de N_T la relación C/N será baja, se explica en la relación estrecha negativa entre el grupo a y d.

Conclusiones

1. Los dos primeros componentes del suelo explicaron el 82 % de la variabilidad total y las variables químicas aportaron mayor variabilidad que las variables físicas.

2. Siete de las quince propiedades edafológicas del bosque forestal han experimentado diferencias significativas ($p \leq 0.05$) después de siete años.

Referencias:

- Acevedo, E., & Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: Sustentabilidad en cultivos anuales. Santiago, Universidad de Chile, *Serie Ciencias Agronómicas*, 8, 13-25.
- Acevedo-Sandoval, O., Valera-Pérez, M. A., & Prieto-García, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlan, Hidalgo, México. *Universidad y ciencia*, 26(2), 137-149.
- Aguilar-Arias, H., Ortiz-Malavassi, E., Vélchez-Alvarado, B., & Chazdon, R. L. (2011). Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 22-31.
- Blum, J. D., Klaue, A., Nezat, C. A., Driscoll, C. T., Johnson, C. E., Siccama, T. G., ... Likens, G. E. (2002). Mycorrhizal weathering of apatite as an important calcium source in base-poor forest ecosystems. *Nature*, 417, 729-731.
- Bolin, B., & Sukumar, R. (2000). *Global perspective. Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Cambridge: Cambridge Univ.
- Bourennane, H., Nicoullaud, B., Couturier, A., & King, D. (2004). Exploring the spatial relationships between some soil properties and wheat yields in two soil types. *Precision Agriculture*, 5, 521-536.
- Broquen, P., Candan, F., Falbo, G., Girardin, J. L., & Aparian, A. (2002). Efecto del *Pinus ponderosa* Dougl. sobre la reacción del suelo en el Sudoeste del Neuquén, Argentina. *Bosque*, 23(1), 47-59.
- Castellanos, J. Z., Uvalle, B. J. X., & Aguilar, S. S. A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2a ed. Celaya, Guanajuato, México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Castro-García, A., & Córdoba, D. A. (1994). Estratigrafía del área volcánica de Tulancingo, Hidalgo, México. *Pancromo* 23, *Revista de Investigación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 26-39 pp.
- Combatt, C. E. M., Jarma, O. A. J., & Polo, S. J. (2004). *Caracterización química de suelos agroforestales del Caribe húmedo Colombiano*. Colombia: Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- DOEH. (2001). Hidalgo: Gobierno del Estado de Hidalgo, pp. 473.
- Eswaran, H., VandenBerg, E., & Reich, P. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 5, 192-194.
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma, Italia: Informes sobre recursos mundiales de suelos 96.
- Fernández, I. E. (2004). *Caracterización química de los suelos del Bosque de Fray Jorge*. La Serena, Chile: Universidad de la Serena, 265-279 pp.

- Fuentes, A. M. del S. (2009). Determinación de la concentración de metales pesados en los suelos de la cuenca alta del río Atexcaco, región de Teziutlán, Puebla. Tesis de licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Gandoy, B. W. (1992). *Manual de laboratorio para el manejo físico de suelo (temporal y riego. Parcela y cuenca)* México: Universidad Autónoma de Chapingo, 20 pp.
- Heredia, O. S., Giuffré, L., Gorleri, F. J., & Conti, M. E. (2006). Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra. *Ciencia del suelo*, 24(2), 109-114.
- INEGI. (1997). *Acaxochitlán, Estado de Hidalgo*. Aguascalientes, México: Cuaderno Estadístico Municipal. Edición 1996. 11 pp.
- Jandl, R., Rubio, A., & Blanco, A. (2004). Cambios en la química de los suelos forestales de Centroeuropa: acidificación y eutrofización. *Ecología*, 18, 285-295.
- Jaramillo, J. D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 613 pp.
- Jaramillo, J. D. F., Anaya, G. M. L., Restrepo, M. C. A., González, S. H. A., & Álvarez, M. F. (2011). Variables físicas que explican la variabilidad de suelo aluvial y su comportamiento espacial. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, 46(12), 1707-1715.
- Lal, R. J. (2000). Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. *Soil Science*.165, 192-207.
- Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R. D., Kuypers, T. W., & Van Breemen, N. (2001). Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 248-254.
- López-Hernández, D., Hernández-Valencia, I., & Güerere, I. (2008). Cambios en parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo de una sabana protegida de quema y pastoreo durante veinticinco años. *Bioagro* 20(3), 151-158.
- Lorenz, G. (1995). Caracterización ecológica de un suelo eutric Regosol bajo bosque en el chaco semiárido, Argentina. *Quebracho*, 3, 13-23.
- Lozano, P. Z., Mogollón, A., Hernández, R. M., Bravo, C., Ojeda, A., Torres, A., ... Toro, M. (2010). Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana luego de la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro* 22(2), 135-144.
- Manjiaiah, K. M., Kumar, S., Sachdev, M. S., Sachdev, P., & Datta, S. C. (2010). Study of clay–organic complexes. *Current Science* 98(7), 915-921.
- Medina-méndez, J., Volke-Haller, V. H., González-Ríos, J., Galvis-Spínola, A., Santiago-Cruz, M. J., & Cortés-Flores, J. I. (2006). Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en Luvisoles del estado de Campeche. *Universidad y ciencias*, 22(2), 175-189.

- Mendiara, C. S. (2012). Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro. Tesis de licenciatura. Universidad de Vic. Escuela Politécnica Superior.
- Diario Oficial De La Federación. NOM-021-SEMARNAT-2000. (2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Ortega, G. F., Mitre, L. M., Roldan, Q. J., Aranda, G. J., Morán, Z. D. J., Alanís, A. S., & Nieto, S. A. (1992). *Carta Geológica de la República Mexicana. Esc. 1:2000000, con texto explicativo*. 5a Ed. México, D.F.: Consejo de Recursos Minerales. Instituto de Geología, U.N.A.M.
- Peña, W., Leirós, De la P. M. del C., & Briceño, J. A. (2005). Propiedades generales y bioquímicas de suelos forestales en áreas serpentinizadas de Galicia. *Agronomía Costarricense*, 29(3), 71-78.
- Pritchett, W. L. (1991). *Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. México: Limusa.
- Rampazzo, N., & Blum, W. E. H. (1992). Changes in chemistry and mineralogy of forest soils by acid rain. *Water Air Soil Pollution*, 61, 209-220.
- Sánchez, J. E., Harwood, R. R., Willson, T. C., Kizilkaya, K., Smeenk, J., Parker, E., ... Robertson, G. P. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agronomic*, 96, 769-775.
- Sánchez, P. A. (1976). *Properties and Management of Soils in the Tropics*. New York. USA: Journal Wiley and Sons, 618 pp.
- Sandoval, M., Stolpe, N., Zagal, E., Mardones, M., & Junod, J. (2003). El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoria*, 12, 65-71.
- Sandoval-Estrada, M., Stolpe-Lau, N., Zagal-Venegas, E., Mardones-Flores, M., & Celis-Hidalgo, J. (2008). Aporte de carbono orgánico de la labranza cero y su impacto en la estructura de un andisol de la precordillera andina chilena. *Agrociencia* 42(2), 139-149.
- Shoji, S., Nanzyo, M., & Dahlgren, R. (1993). *Volcanic ash soils. Genesis. Properties and utilization*. Amsterdam: Elsevier, 288 pp.
- Soil Survey Staff, *Soil Taxonomy*. (1999). *A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2a. Ed. Washington D. C.: Agriculture Handbook N° 436. USDA, 869 pp.
- Urrego, B. (1997). *La reforestación con coníferas y sus efectos sobre la acidificación, podsolización y pérdida de fertilidad de los suelos*. Quito, Ecuador: Informaciones Agronómicas 28, 6-12. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS).

Vergara, S. M. Á., Etchevers, B. J. D., & Vargas, H. M. (2004). Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. *TERRA Latinoamericana*, 22(3), 359-367.

Wander, M. M., Walter, G. L., Nissen, T. M., Bollero, G. A., Andrews, S. S., & Cavanaughgrant, D. A. (2002). Soil quality: Science and process. *Agronomic*, 94, 23–32.

Zapata, H. R. D. (2006). *Química de los procesos pedogenéticos*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 358 pp.

Zobeck, T. M., Crownover, J., Dollar, M., Van, P. R. S., Acosta, M. V., Bronson, K. F., & Upchurch, D. R. (2006). *Southern high plains conservation systems effects on the soil conditioning index and other soil quality indexes*. Amarillo, Texas: Southern Conservation Systems Conference.