



ATRIBUTOS QUÍMICOS PARA DEFINIR LA APTITUD AGRÍCOLA DE VERTISOLES DEL BAJÍO MEXICANO

Víctor Manuel Montoya-Jasso¹, Víctor Manuel Ordaz-Chaparro¹✉, Gerardo Sergio Benedicto-Valdés¹,
Enrique Ojeda-Trejo¹ y Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena²

¹Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, 56230.

✉ordaz@colpos.mx

²Universidad Autónoma de Nuevo León. Pedro de Alba S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66451.

Palabras claves: calidad del suelo, materia orgánica, carbono, componentes principales

RESUMEN

La determinación de atributos químicos de suelos permite establecer parámetros de aptitud y calidad, lo cual hace referencia a la capacidad del mismo para el funcionamiento del ecosistema, sostenibilidad y productividad. En México, particularmente para los vertisoles, estudios abordan pocos aspectos relacionados con atributos químicos que permitan definir su aptitud agrícola. El contenido de carbono del suelo, en conjunto integral con las propiedades químicas, son indicadores de calidad e influyen en los contenidos de N, Ca, Mg y pH, entre otras. El objetivo de esta investigación fue generar rangos específicos para definir la aptitud agrícola de vertisoles. Para ello se emplearon suelos clasificados como vertisoles, provenientes de Jaral del Refugio en Acámbaro, Guanajuato, México; mismos que fueron muestreados en cinco puntos. El rango medio de pH fue de 6-7, la CE fue de 0.06-0.18 dS m⁻¹ producto del nulo suministro de fertilizantes, la materia orgánica del suelo se considera dentro de un rango elevado (>5.46%), así como para N con valor >1.12%. El rango medio para carbono fácilmente oxidable obtuvo un valor de 371-531 mg kg⁻¹, mientras que Ca y Mg solubles se mantuvieron en similitud de contenido provocado por la estabilidad y retención en las arcillas del suelo. Las formas solubles de C reportaron un valor mínimo de <42.48, <6.75 y <32.90 mg kg⁻¹ de CTD, CID y COD; respectivamente. Las aportaciones prácticas pueden optimizar los procesos del manejo agrícola al que son sometidos los vertisoles, repercutiendo positivamente en la rentabilidad del sistema de producción y ambiental.

CHEMICAL ATTRIBUTES TO DEFINE THE AGRICULTURAL APTITUDE OF VERTISOLS OF THE MEXICAN BAJIO

Key words: soil quality, organic matter, carbon, principal components

ABSTRACT

The determination of chemical attributes of soils allows establishing parameters of aptitude and quality, which refers to its capacity for the functioning of the ecosystem, sustainability and productivity. In Mexico, particularly for vertisols, studies address few aspects related to chemical attributes that allow defining their agricultural suitability. The carbon content of the soil, together with the chemical properties, are indicators of quality and influence the contents of N, Ca, Mg and pH, among others. The objective of this research was to generate specific ranges to define the agricultural suitability of vertisols. For this, soils classified as vertisols were used, coming from Jaral del Refugio in Acámbaro, Guanajuato, México; which were sampled at five points. The average pH range was 6-7, the EC was 0.06-0.18 dS m⁻¹ as a result of the null supply of fertilizers, the organic matter of the soil is considered within a high range (>5.46%), as well as for N with value >1.12%. The medium range for easily oxidizable carbon obtained a value of 371-531 mg kg⁻¹, while soluble Ca and Mg remained similar in content caused by stability and retention in soil clays. The soluble forms of C reported a minimum value of <42.48, <6.75 and <32.90 mg kg⁻¹ of CTD, CID and COD; respectively. The practical contributions can optimize the processes of agricultural management to which vertisols are subjected, having a positive impact on the profitability of the production and environmental system.

Rec : 07/08/2021

Acep : 20/10/2021

INTRODUCCIÓN

La caracterización química de suelos depende de técnicas analíticas, estos valores de referencia son destinados a un tipo de suelo en particular, que son escasos ocasionando el empleo de tablas generales de caracterización y son generadas anualmente por la experiencia en campo como por laboratorio. El generar índices de referencia es prioridad para establecer estrategias de manejo que conlleven a un uso de suelo compatible con la sostenibilidad y conservación del mismo. La calidad del suelo se refleja por su capacidad en el correcto funcionamiento del agroecosistema, su sostenibilidad y productividad, como para conservar y fomentar el establecimiento de flora y fauna (Armida-Alcudia *et al.*, 2005); reservar nutrientes (Wang *et al.*, 2015) y resistir efectos por actividades antropogénicas (Schoenholtz *et al.*, 2000). Los vertisoles ocupan el 8.6% del total de los suelos en México, de los cuales el Bajío constituye una superficie aproximada de 500 000 hectáreas (Báez-Pérez *et al.*, 2017). La agricultura intensiva y las inadecuadas prácticas agrícolas han ocasionado un severo deterioro, lo que impacta en la ecología y rentabilidad para la producción agrícola. El carbono del suelo, y sus distintas formas, son indicadores de calidad e influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Este parámetro, en conjunto con las propiedades químicas, permite monitorear los agroecosistemas para evaluar su condición y definir su potencial productivo (Bautista-Cruz *et al.*, 2004). Entre los criterios a cumplir, el indicador de calidad debe mostrar sensibilidad a las variaciones del manejo y clima (Doran y Parkin, 1994). En este sentido, los indicadores del suelo son suficientemente sensibles para mostrar cambios a corto tiempo (Dick, 1994). El objetivo de esta investigación fue generar rangos específicos para definir la aptitud agrícola de vertisoles en la región Bajío de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los suelos son clasificados como Vertisoles, éstos se sitúan en el Jaral del Refugio en Acámbaro, Guanajuato, México; mismos que fueron empleados para obtener muestras alteradas de suelo. Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Química y Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. El criterio de muestreo consistió en tomar una submuestra de cinco puntos, considerando los cuatro puntos cardinales y uno céntrico en el terreno para obtener una muestra compuesta, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas a 2 mm. Las variables químicas fueron pH y conductividad

eléctrica (CE) por extracto 1:2, materia orgánica del suelo (MOS) por oxidación húmeda (Walkey y Black, 1947) y carbono orgánico del suelo (COS) en función de los datos de MO multiplicados por el factor 0.50 (Douglas, 2010), Ca y Mg solubles obtenidos de extracto de saturación (USSL, 1954), el nitrógeno (N) aplicando la metodología micro-Kjeldal, relación C/N en función de los datos de CO y N, la materia orgánica particulada (MOP) por incineración (Nelson y Sommers, 1996), carbono fácilmente oxidable (COX) por permanganometría (Blair *et al.* 1995) y las formas disueltas de carbono orgánico (COD), inorgánico (CID) y total (CTD) mediante oxidación por combustión catalítica (Everaert y Baetens, 2004). Para el análisis de las variables se realizó utilizando el software estadístico SAS® 9.0, aplicando un análisis de componentes principales (ACP) que permita elaborar índices con las agrupaciones de las escalas parciales (Guzmán-Rivera, 2017) bajo el siguiente modelo matricial, donde j es la unidad de análisis y el numeral expresa las variables:

$$X = \begin{bmatrix} l_{1-1} & l_{1-2} & \dots & l_{1-13} \\ l_{2-1} & l_{2-2} & \dots & l_{2-13} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{j-1} & l_{j-2} & \dots & l_{j-13} \end{bmatrix}$$

Por otra parte, los componentes principales fue mediante la siguiente combinación lineal, donde ω define un vector para cada variable:

$$y_1 = \omega_{1-1}x_1 + \omega_{1-2}x_2 + \dots + \omega_{1-13}x_{13}$$

$$y_2 = \omega_{2-1}x_1 + \omega_{2-2}x_2 + \dots + \omega_{2-13}x_{13}$$

$$\vdots$$

$$y_j = \omega_{j-1}x_1 + \omega_{j-2}x_2 + \dots + \omega_{j-13}x_{13}$$

Además de realizar la prueba de esfericidad de Bartlett para contrastar la matriz de correlaciones y la matriz de identidad, se efectuó la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (K-M-O) como indicador para medir la idoneidad de los datos por un análisis factorial, si este resulta >0.60 pero <1 , que argumenta la utilidad del ACP en la aplicación para generar índices (Grisales y Arbeláez, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ACP fue ejecutado después de cumplir con los supuestos estadísticos, se procedió a realizar el análisis de esfericidad de Bartlett encontrando que todos los componentes tienen una significancia estadística $p = 0.000$ (Tabla 1), obteniendo un valor superior a 0.60, y menor a 1, en la prueba de K-M-O, por lo cual se continuó con el desarrollo del ACP.

Tabla 1. Indicadores de pertenencia del ACP y porcentaje de varianza de cada CP

Indicador	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Bartlett (p-value)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K-M-O	0.66	0.63	0.64	0.63	0.64
Varianza explicada (%)	99.95	0.04	0.01	0.00	0.00
Varianza acumulada (%)	99.95	99.99	100.0	100.0	100.0

La Tabla 2 muestra la estadística descriptiva de las variables, donde el pH reporta rangos entre ligeramente ácidos (6.47) a ligeramente alcalinos (7.17), de acuerdo con Rodríguez y Rodríguez (2002), estos son considerados apropiados para la absorción

nutricional de la mayoría de los cultivos de interés agrícola. Los valores de la CE oscilaron entre 0.06 a 0.18 dS m⁻¹, indicando la ausencia de sales que presenten restricciones de productividad por esta variable (Yáñez *et al.*, 2018).

Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables químicas del suelo.

Variable	pH	CE	Ca	Mg	MO	COS	N	C/N	MOP	COX	CTD	CID	COD
		dS m ⁻¹	meq L ⁻¹			%			%	mg kg ⁻¹			
<i>n</i>							18						
Media	6.89	0.10	1.65	1.20	6.82	3.96	1.12	3.73	13.02	530.90	51.16	9.55	41.61
Mediana	6.88	0.10	1.49	1.16	6.43	3.73	1.09	3.46	13.24	556.36	50.79	7.46	38.71
Mínimo	6.47	0.06	0.62	0.33	5.46	3.17	0.81	2.60	8.74	370.91	42.03	6.76	32.92
Máximo	7.17	0.18	2.53	2.07	8.58	4.98	1.52	5.09	16.14	610.91	61.02	19.83	54.26
Desv. Est.	0.24	0.04	0.73	0.65	1.27	0.74	0.25	0.98	2.54	83.55	7.49	5.09	8.63
Coef. var.	0.03	0.44	0.45	0.54	0.18	0.18	0.22	0.26	0.19	0.15	0.14	0.53	0.20

Donde: pH: potencial hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, Ca: calcio soluble, Mg: magnesio soluble, MOS: materia orgánica del suelo, COS: carbono orgánico del suelo, N, nitrógeno, C/N: relación carbono/nitrógeno, MOP: materia orgánica particulada, COX: carbono fácilmente oxidable, CTD: carbono total disuelto, CID: carbono inorgánico disuelto y COD: carbono orgánico disuelto.

Woerner (1991), menciona que, en suelos clasificados como Vertisoles, el contenido elevado de Ca y Mg proviene de formas de Ca-Mg-CO₃, esto refleja la semejanza del contenido de Ca y Mg solubles, siendo producto de la retención y estabilidad de los elementos en las arcillas del suelo. El porcentaje de MOS es considerado alto para un suelo agrícola, 5.46 a 8.58%, Báez-Pérez *et al.*, (2017), ocasionado por efecto de aportaciones constantes de residuos de cosechas y buena calidad edáfica que favorecen procesos de mineralización y humificación en conjunto con arcillas y microorganismos del suelo (Chen *et al.*, 2013) lo que impacta directamente al contenido de COS, explicado por su estrecha relación ($R^2=1.00$), y su grado de mineralización (Montoya-Jasso *et al.*, 2019). El contenido promedio de N fue de 1.12%, Drinkwater *et al.*, (1996) y Fregoso-Tirado (2008) reportan resultados similares y lo atribuyen a la dinámica química de las arcillas del suelo y el incremento en la actividad microbiana en la descomposición de la MO. Dada la naturaleza en la dinámica de cada una de las variables estudiadas, particularmente los valores superiores del contenido de COX, se deben a una acumulación de C proveniente de la mineralización de la materia orgánica por años (Almendros, 2004; Vásquez y Macías, 2017), caso contrario para el CI que está presente en menor contenido por su retención química en las arcillas y limos del suelo; o bien, formando parte estructural de compuestos como

bicarbonatos, carbonatos (Mosquera *et al.*, 2012) o complejos minerales (Macías *et al.*, 2004). La matriz de correlaciones de Pearson fue aplicada al ACP (Tabla 3) e indicó la existencia de relación entre variables, por consiguiente, un menor número de factores que expliquen el mayor porcentaje de variación total (Yengle, 2012). Sobresale la elevada correlación (81%) entre el COD y el CTD, de acuerdo con Martínez *et al.* (2008), debido a que el CO constituye el 69% del CT; por consiguiente, el CO define el contenido del resto de las formas de C en el suelo.

Tabla 3. Matriz de correlaciones por variable química del suelo.

Variable	pH	CE	Ca	Mg	MOS	COS	N	C/N	MOP	COX	CTD	CID	COD
pH	1												
CE	0.46	1											
Ca	0.93	0.64	1										
Mg	0.55	0.85	0.73	1									
MOS	0.30	0.90	0.53	0.86	1								
COS	0.30	0.90	0.53	0.86	1	1							
N	-0.12	-0.13	-0.07	0.33	0.20	0.20	1						
C/N	0.43	0.83	0.58	0.48	0.63	0.63	-0.62	1					
MOP	0.01	0.52	0.30	0.55	0.80	0.80	0.32	0.38	1				
COX	-0.29	0.15	-0.01	0.06	0.40	0.40	0.01	0.28	0.83	1			
CTD	-0.48	0.45	-0.16	0.41	0.56	0.56	0.20	0.25	0.60	0.55	1		
CID	0.50	0.34	0.63	0.72	0.58	0.57	0.70	-0.2	0.61	0.22	0.10	1	
COD	-0.71	0.19	-0.51	-0.07	0.15	0.15	-0.24	0.23	0.16	0.34	0.81	-0.51	1

Donde: pH: potencial hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, Ca: calcio soluble, Mg: magnesio soluble, MOS: materia orgánica del suelo, COS: carbono orgánico del suelo, N, nitrógeno, C/N: relación carbono/nitrógeno, MOP: materia orgánica particulada, COX: carbono fácilmente oxidable, CTD: carbono total disuelto, CID: carbono inorgánico disuelto y COD: carbono orgánico disuelto.

Al generar un índice utilizando un ACP es necesario tomar en cuenta el autovalor que contenga el mayor porcentaje de varianza explicada (Yengle, 2012). En este caso, el CP1 explicó la mayor varianza (99.95%) (Tabla 1) y el CP2 explicó solo el 0.04%, razón por la cual se utilizaron los autovalores del CP1 y los componentes de las variables (Tabla 1) para generar únicamente los valores eigen del CP1 (Tabla 4), mismos que se obtienen mediante una matriz de carga estándar de clases que definirán el índice para obtener la aptitud del suelo empleando el cálculo de intervalos mediante amplitud y tamaño del valor (Tabla 5).

Tabla 4. Matriz de componentes y valores por variable química del suelo.

X_{1...13}	Variable	Componente 1	Componente 2	Valor eigen
X₁	pH	0.187629	-0.468379	-0.466
X₂	CE	0.361724	0.007681	-0.898
X₃	Ca	0.282868	-0.349343	-0.704
X₄	Mg	0.367747	-0.101763	-0.913
X₅	MOS	0.389069	0.080163	-0.965
X₆	COS	0.389142	0.079985	-0.966
X₇	N	0.067337	-0.021821	-0.165
X₈	C/N	0.268507	0.028364	-0.667
X₉	MOP	0.318747	0.198797	-0.790
X₁₀	COX	0.162432	0.322402	-0.402
X₁₁	CTD	0.195707	0.442732	-0.485
X₁₂	CID	0.269948	-0.202559	-0.669
X₁₃	COD	0.010293	0.503543	-0.256

Donde: pH: potencial hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, Ca: calcio soluble, Mg: magnesio soluble, MOS: materia orgánica del suelo, COS: carbono orgánico del suelo, N, nitrógeno, C/N: relación carbono/nitrógeno, MOP: materia orgánica particulada, COX: carbono fácilmente oxidable, CTD: carbono total disuelto, CID: carbono inorgánico disuelto y COD: carbono orgánico disuelto.

Tabla 5. Indicadores de puntaje para las variables químicas del suelo.

Variable	Unidades	Bajo	Medio	Alto
pH	---	<6.47	6.47 - 6.94	>6.94
CE	dS m ⁻¹	<0.05	0.05 - 0.14	>0.14
Ca	meq L ⁻¹	<0.618	0.618 - 1.890	>1.890
Mg		<0.328	0.328 - 1.490	>1.490
MOS		<5.46	5.46 - 7.54	>7.54
COS	%	<3.17	3.17 - 4.38	>4.38
MOP		<8.73	8.73 - 13.70	>13.70
N		<0.811	0.811 - 1.290	>1.290
COX		<371	371 - 531	>531
CTD	mg kg ⁻¹	<42.48	42.48 - 54.70	>54.70
CID		<6.75	6.75 - 15.50	>15.50
COD		<32.90	32.90 - 47.10	>47.10
C/N	---	<2.60	2.60 - 4.26	>4.26

Donde: pH: potencial hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, Ca: calcio soluble, Mg: magnesio soluble, MOS: materia orgánica del suelo, COS: carbono orgánico del suelo, N, nitrógeno, C/N: relación carbono/nitrógeno, MOP: materia orgánica particulada, COX: carbono fácilmente oxidable, CTD: carbono total disuelto, CID: carbono inorgánico disuelto y COD: carbono orgánico disuelto.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, se concluye:

- I. La creación y validación de índices aplicables a la región Bajío de México favorece la clasificación química rápida de vertisoles demostrando la versatilidad del uso de técnicas numéricas-analíticas en las ciencias del suelo.
- II. A medida que aumenta el contenido de COX, CTD y COD en el suelo, el puntaje del índice del resto de las variables será considerablemente menor, al igual que su variabilidad.
- III. Las aplicaciones prácticas del presente pueden optimizar los procesos de manejo agrícola de vertisoles, repercutiendo positivamente en la rentabilidad del sistema de producción y ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del laboratorio de Química y Física de Suelos del Colegio de Postgraduados por el apoyo en la ejecución de las determinaciones. A todos los productores agrícolas del Jaral del Refugio por su valiosa participación y facilitación al acceso a los predios, así mismo, al CONACYT por el apoyo al otorgar becas para la formación a nivel posgrado.

REFERENCIAS

- Almendros, C. 2004.** Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de carbono en los suelos. *Edafología* 11: 229-249. ISSN: 1135-6863.
- Armida-Alcudia L., Espinosa-Victoria D., Palma-López D. J., Galvis-Spinola A. 2005.** Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana*. 23(4), 545-551. ISSN: 0187-5779.
- Báez-Pérez A., Limón-Ortega A., González-Molina L., Ramírez-Barrientos C. E. y Bautista-Cruz A. 2017.** Efecto de las prácticas de agricultura de conservación en algunas propiedades químicas de los vertisoles. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 8, núm. 4. pp. 759-772. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.5>
- Bautista, C. A.; Etchevers, B. J. D.; del Castillo, R. F. y Gutiérrez, C. C. 2004.** La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*. 13:90-97. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2004.13-2>
- Blair, G.J., Lefroy, R. D. B., and Lisle, L., 1995.** Soil carbon fractions, based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 46 1459-66. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR9951459>
- Chen, F., H. Zheng, Z. Kai, Z. Ouyang, J. Lan, H. Li, and Q. Shi. 2013.** Changes in soil microbial community structure and metabolic activity following conversion from native *Pinus massoniana* plantations to exotic *Eucalyptus* plantations. *For. Ecol. Manage.* 291: 65-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.016>
- Dick, R. P. 1994.** Soil enzyme activities as indicators of soil quality. pp. 107-124. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart (eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Special Publication 35. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c7>
- Doran, J. W. and T. B. Parkin. 1994.** Defining and assessing soil quality. pp. 3-21. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart (eds.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Special Publication 35. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- Douglas W. P. 2010.** A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*. 156: 75-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>
- Drinkwater, L. E., C. A. Cambardella, J. D. Reeder, and Ch. W. Rice. 1996.** Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. pp. 217-229. In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c13>
- Everaert, K. and J. Baeyens. 2004.** Catalytic combustion of volatile organic compounds. *J. Hazard. Mater.* 109(1-3): 113-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.03.019>
- Fregoso-Tirado L. E. 2008.** Cambios en las características químicas y microbiológicas de un vertisol inducidos por sistema de labranza de conservación. *Terra Latinoamericana*. Vol. 26, Núm. 2. pp. 161-170. ISSN: 2395-8030
- Grisales R., H. y Arbeláez M., M. P. 2008.** Metodología para el diseño de un índice de condiciones de vida para los adolescentes

- jóvenes. *Rev Fac Nac Salud Pública*; 26(2): 178-195.
- Guzmán R., A. 2017.** Elaboración de un índice utilizando la herramienta de “componentes principales” para el análisis de la competitividad en una escuela de música. *Revista Ciencia Administrativa*; No 1. pp. 141-153.
- Macías, F., R. M. Calvo de Anta, L. Lado, R. Verde, X. Pena y M. Camps Arbestain. 2004.** El sumidero de carbono de los suelos de Galicia. *Edafología* 11: 341-376.
- Martínez H., E., Fuentes E., J. P. y Acevedo H., E. 2008.** Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8 (1) (68-96). DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Montoya-Jasso V. M., Benedicto-Valdés G. S., Ordaz-Chaparro V. M., Ruiz-Bello A., Arreola-Tostado J. M. and Castillo-Valdez X. 2019.** Evaluation of substrates mineralization by C-CO₂ flux under nitrogen fertilization. *Suelos Ecuatoriales* 49 (1 y 2): 19-28. DOI: [https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p19-28_101](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p19-28_101)
- Mosquera, O., P. Buurman, B. L. Ramirez, and M. C. Amezquita. 2012.** Carbon stocks and dynamics under improved tropical pasture and silvopastoral systems in Colombian Amazonia. *Geoderma* 189-190: 81-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.04.022>
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996.** Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Sparks, D.L., et al., Eds., *Methods of Soil Analysis. Part 3*, SSSA Book Series, Madison, 961-1010. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Rodríguez Fuentes, H. y J. Rodríguez A. 2002.** Métodos de análisis de suelos y plantas: Criterios de interpretación. Trillas. México, D. F. ISBN: 978-607-17-2243-0
- Schoenholtz, S. H., H. Van-Miegroet, and J. A. Burger. 2000.** A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. *For. Ecol. Manage.* 138: 335-356. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0)
- United States Salinity Laboratory. 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook* 60. U.S.A.
- Vásquez P., J. R. y Macías V., F. 2017.** Fraccionamiento químico del carbono en suelos con diferentes usos en el departamento de Magdalena, Colombia. *Terra Latinoamericana* 35: 7-17. ISSN: 0187-5779.
- Walkey, A. and I. A. Black. 1947.** An examination of the deghareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method, *Soil Science*, no. 37, pp. 29–38. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Wang, W., C. Wang, J. Sardans, Q. Min, C. Zeng, C. Tong, and J. Peñuelas. 2015.** Agricultural land use decouples soil nutrient cycles in a subtropical riparian wetland in China. *Catena* 133: 171-178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.003>
- Woerner, M. 1991.** Los suelos bajo vegetación de matorral del noreste de México, descritos a través de ejemplos en el campus universitario de la UANL, Linares, N. L. pp. 1-9. *Reporte Científico No. 22.* Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México.
- Yáñez D. M. I., Cantú S. I. y González R. H. 2018.** Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana* 36: 369-379. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>
- Yengle R., C. 2012.** Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener índices sintéticos de calidad ambiental. *UCV - Scientia*, 145-153. DOI: <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v4i2>