

Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno

Emma Socorro Soto-Mora¹, Maricela Hernández-Vázquez², Héctor Santos Luna-Zendejas¹,
Elvia Ortiz-Ortiz³ y Elizabeth García-Gallegos¹

Maestría en Ciencias Ambientales¹, Facultad de Agrobiología², Facultad de Odontología³
Universidad Autónoma de Tlaxcala

Tlaxcala, Tlax.; México

[emmasocorro, hlzendejas9, gallegoseg}@hotmail.com

Abstract—In agricultural soils the organic matter, organic carbon and total nitrogen content, and the carbon/nitrogen ratio, an index that is used as an indicator of the decomposition of soil organic matter were measured. The results indicated that the soils were slightly acidic, with a low organic matter and total nitrogen content, as well as a low cation exchange capacity. The average carbon/nitrogen ratio of the soil was 10, a normal value with respect to the release of nitrogen. However, in correlating that ratio with the organic matter content, the higher the quantity of organic matter, the higher such ratio, and consequently the agricultural soils under study show a slow organic matter breakdown. It is suggested to add organic amendments to the soil to enhancing the microbial activity and creating better conditions for mineralization.

Keyword— soil properties, mineralization, nutrients.

Resumen— En suelos agrícolas se determinó el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno, un índice que se emplea como indicador de la descomposición de la materia orgánica del suelo. Los resultados señalaron que los suelos tuvieron un pH moderadamente ácido, bajo contenido de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total, además de una baja capacidad de intercambio catiónico. La relación carbono/nitrógeno promedio en los suelos fue de 10, normal con respecto a la liberación de nitrógeno; sin embargo, al correlacionar con el contenido de materia orgánica a mayor cantidad de ésta, se incrementa la relación carbono/nitrógeno, lo cual indica que los suelos agrícolas bajo estudio exhiben un lento proceso de descomposición de la materia orgánica presente. Es importante considerar el incorporar a dichos suelos enmiendas orgánicas para incrementar la actividad microbiana y mejorar las condiciones de mineralización.

Palabras claves— propiedades edáficas, mineralización, nutrimentos.

I. INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) se encuentra constituida por una variedad importante de compuestos de complejidad variable en un continuo estado de transformación, lo que depende de la época de muestreo y las condiciones edafoclimáticas [1], así como al tipo de residuo orgánico que se aplique al suelo. Los procesos de humificación y mineralización a los que está sometida son los factores que influyen en la migración de las fracciones de carbono y nutrimentos solubles en el perfil del suelo y su posible retención por la fracción orgánica y/o por la fracción mineral del suelo [2].

La calidad y cantidad de la MO en el suelo permite hacer inferencias acerca de su fertilidad y su descomposición como fuente de nutrimentos dependerá tanto de la estructura y complejidad química del material orgánico como del grado de protección que encuentre en el suelo [3]. Actualmente a la materia orgánica se le considera el indicador por excelencia para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas [4], su importancia reside en su contribución al desarrollo de las plantas y su influencia en las propiedades del suelo [5]. La relación carbono/nitrógeno (C/N) es un índice determinado por el contenido de C orgánico y N total, se considera como un indicador de la mineralización de la MO del suelo y correlaciona fuertemente con las propiedades edáficas [6], es un índice fácil de medir, que igual

que los indicadores físicos y químicos va a variar de acuerdo a las características predominantes del suelo [7].

Ribeiro [8] menciona que la relación C/N proporciona información acerca del grado de mineralización de la materia orgánica, en este sentido en suelos agrícolas cultivados con maíz presentaron una relación C/N de 10 [9], mientras que en suelos a los que se les adicionó composta la relación C/N fue de 9 [10]. Shunfeng et al. [11] reportan que dicha relación determina la calidad del suelo; sin embargo, es importante aplicar residuos que mejoren el nivel de C orgánico para incrementar la degradación de la MO que permita la mineralización. Fuentes [12] considera que un índice de la relación C/N entre 10 y 12 es normal respecto a la liberación de nitrógeno y significa que existe un balance de inmovilización/mineralización del nitrógeno.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la relación C/N como un índice que indica la descomposición de la MO presente en suelos agrícolas, con base en el contenido de C orgánico y N total; además de correlacionar dicho índice con algunas propiedades químicas del suelo.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron 25 parcelas agrícolas en periodo de sequía dentro del municipio de Tetla de la Solidaridad al noroeste del estado de Tlaxcala, lugar donde se localiza una importante actividad industrial que procede de la Ciudad Industrial Xicohtencatl I (CIX-I) (Figura 1). Los suelos de la zona pertenecen principalmente al orden Phaeozem en un 62 %. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación de 600-900 mm y temperatura de 12 a 14 °C. La vegetación del lugar es constituida principalmente por un bosque de *Juniperus deppeana* y la agricultura es de temporal, los cultivos principales son cebada, maíz y trigo [13].

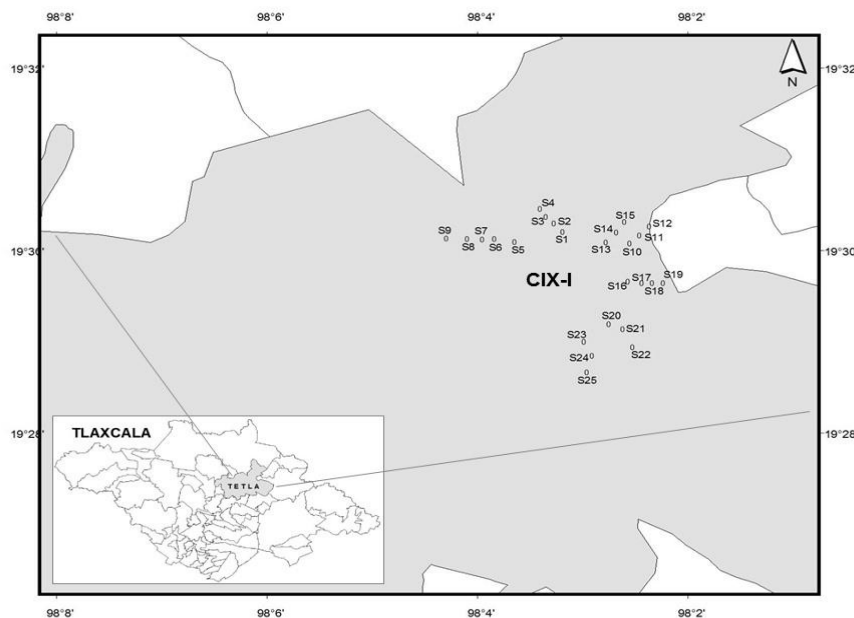


Figura 1. Sitios de muestreo de los diferentes suelos agrícolas en el municipio de Tetla.

Para obtener las diferentes muestras de suelo agrícola se utilizó el método simple aleatorio en zig-zag a una profundidad de 0-30 cm, se recolectaron seis muestras simples de aproximadamente 500 g y para realizar los diferentes análisis se perpetraron muestras compuestas de cada parcela por el método del cuarteo, como lo indica la NOM-021-SEMARNAT-2000 [14]. Cada muestra se secó a temperatura ambiente y a la sombra, se tamizó con una malla de 2 mm de abertura para homogeneizar el tamaño de partícula.

A cada muestra se le determinó por triplicado: pH, en una suspensión de suelo: agua (1:2 p/v) [15]; conductividad eléctrica (CE), en el extracto de saturación [16]; contenido de MO y C orgánico, por el método de Walkley-Black [15]; capacidad de intercambio catiónico (CIC), por la técnica con acetato de amonio [17]; N total, por el método de Kjeldahl [18] y la relación C/N por la NMX-AA-67-1985 [19] como un índice determinado por el contenido de C orgánico y N total, el cual es considerado como un indicador de la mineralización de la MO.

El análisis estadístico consistió en obtener los valores promedio y desviación estándar de pH, CE, CIC, MO, C orgánico, N total y relación C/N. Se determinó el coeficiente de correlación Pearson ($p < 0.05$) entre los parámetros evaluados para posteriormente realizar el análisis de regresión lineal entre la relación C/N y los parámetros edáficos significativos, empleando el paquete estadístico InfoStat versión libre 8 [20].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de los parámetros edáficos. De acuerdo a la clasificación que establece la NOM-021 [14] el pH fue moderadamente ácido (5.93), lo que influye directamente sobre la movilidad de los nutrientes en el suelo. Rodríguez y Rodríguez [21] mencionan que un intervalo de pH de 5.8 a 7.5 se considera como el más deseable para la movilidad nutricional para la mayoría de los cultivos, por debajo de 5.5 es muy probable que existan problemas de toxicidad por Al y/o Mn para algunos cultivos, mientras que por arriba de 7.5 generalmente se reduce la disponibilidad de P y todos los micronutrientes a excepción del molibdeno. Respecto a la CE hay un efecto despreciable de sales, el valor promedio en los suelos agrícolas fue < 1 dS m⁻¹. En cuanto a la CIC, ésta fue baja, al igual que lo reportado por García et al. [22] en suelos agrícolas de la zona bajo estudio, los valores presentaron un intervalo de 10 a 16 Cmol(+) kg⁻¹. La NOM-021 [14] cita que valores de CIC de 5 a 15 Cmol(+) kg⁻¹ indican una baja capacidad de intercambio, mientras que a 25 Cmol(+) kg⁻¹ el suelo cuenta con una reserva nutricional importante. Micó et al. [23] reportaron una CIC promedio de 14.1 Cmol(+) kg⁻¹ en suelos influenciados por la actividad industrial. En cuanto a la MO se cuantificó un porcentaje muy bajo en todos los suelos (< 4 %) al igual que la cantidad de C orgánico (1.75 %) que de acuerdo a Rodríguez y Rodríguez [21] es bajo. García et al. [22] reportaron que en suelos de la misma zona de estudio el porcentaje de MO presentó un intervalo de 0.9 a 1.1 %, valores aún más bajos que los encontrados en este trabajo, lo que indica un cierto grado de degradación por la pérdida de MO, la cual repercute directamente en la fertilidad del suelo. Al incorporar MO se incrementa la estructuración de los agregados del suelo, es una reserva de macro y micronutrientes, debido a que presenta características de adsorción e intercambio, además de proporcionar energía a los microorganismos e inferir en la movilidad de los elementos para formar complejos, Romanya et al. [24]. Por otro lado, aún con un bajo porcentaje de MO presente en los suelos, es importante determinar su grado de mineralización, debido a que su descomposición dependerá tanto de la estructura y complejidad química de los residuos orgánicos [1]. Rodríguez et al. [4] mencionan que un bajo contenido de MO en suelos puede ser debido al efecto de las prácticas agrícolas, a la aplicación de fertilizantes y al laboreo del suelo, lo que provoca el deterioro de la estructura de éste, además de incrementarse la densidad aparente, lo que limita la penetración de las raíces y con ello afectar a la producción agrícola.

Tabla I. Parámetros edáficos determinados en los suelos agrícolas.

| Parámetro | Valores promedio | Valores de referencia | |
|---------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|
| pH 1:2 (p/v) agua | 5.93 ± 0.41 | 5.1 a 6.5 | Moderadamente ácido* |
| CE (dS m ⁻¹) | 0.38 ± 0.06 | < 1.0 | Efectos despreciables* |
| MO (%) | 3.03 ± 1.58 | < 4.0 | Muy bajo* |
| CIC [Cmol(+) kg ⁻¹] | 9.32 ± 1.37 | 5 a 15 | Baja* |
| C orgánico (%) | 1.75 ± 0.91 | 0.6 a 1.8 | Bajo** |
| N total (%) | 0.17 ± 0.06 | < 0.30 | Bajo* |
| C/N | 10 ± 3.41 | 10 a 12 | Normal [12] |

Media ± DE (n = 75). p ≤ 0.05. *NOM-021-SEMARNAT-2000 [14]. **Rodríguez y Rodríguez [21].

La relación C/N permite conocer el grado de mineralización de la materia orgánica presente, el índice promedio de 10 que se obtuvo en los suelos bajo estudio, de acuerdo a Fuentes [12] se considera normal (una relación C/N de 10 a 12 respecto a la liberación de N, significa que existe un balance de inmovilización/mineralización). Sakin et al. [25] mencionan que una relación C/N en suelos agrícolas con un índice < 10 indica una entrada importante de N, principalmente de fertilizantes. Navarro y Navarro [26] mencionan que las plantas utilizan el N disponible a medida que transcurre la descomposición de la MO. Fuentes [12] y Boul et al. [27] explican que la transformación de residuos orgánicos con mayor contenido de C suministran energía para que exista una proliferación de microorganismos que se encargan de transformar a la MO, de modo que cuando la proporción de C se incrementa el N es utilizado por los microorganismos para sintetizar su propia proteína, por lo que existe poca producción de N amoniacal. La mineralización es la conversión de un elemento que se encuentra en forma orgánico a un estado inorgánico en el suelo, produciéndose amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻), aumentando así el contenido de N inorgánico, evitando que se presente una inmovilización a través de la transformación de NH₄⁺ y NO₃⁻ en N orgánico y no esté disponible para las plantas [28].

Báez et al. [29] reportaron una relación C/N en tepetates (término que se refiere a un horizonte endurecido, ya sea compactado o cementado, que se encuentra comúnmente en los paisajes volcánicos de México, subyaciendo a suelos o bien aflorando en superficie) con manejo agrícola tradicional de 7.1 a 8.3, lo que indicó una elevada mineralización de la MO presente, menor a lo encontrado en este trabajo. Por otro lado, Haulon et al. [30] y Gama et al. [31] mencionan que el porcentaje de N total en tepetates y MO es extraordinariamente bajo, 0.1 - 0.8 %, 0.01 - 0.03 %, respectivamente y se debe principalmente a la ausencia absoluta de residuos orgánicos, lo que conlleva a la pérdida de la diversidad microbiana y al incremento de la densidad aparente, condición que limitará la penetración de las raíces de las plantas.

En la tabla 2 se presenta la matriz de correlación entre las variables edáficas y la relación C/N como el índice de la mineralización de la MO, existieron correlaciones positivas y significativas (p<0.05). Entre las variables edáficas la CIC correlaciona con la MO, C orgánico, la relación C/N y N total. Jaradat et al. [32] reportan que suelos con un alto contenido de MO pueden tener a la vez una mayor capacidad de intercambio, debido a que la MO presenta una gran cantidad de grupos carboxilos, lo que resulta en una alta densidad de sitios desionizados y una liberación de H⁺ y por consecuencia una disminución del pH, asimismo, una aportación importante de macro y micronutrientes, lo que incide positivamente sobre la actividad microbiana del suelo e influye directamente sobre la movilidad e inmovilización del P, S y N. Por otro lado, Sakin et al. [25] reportan que cuando hay una entrada de fuentes externas de N (como es el caso de fertilizantes nitrogenados) al suelo, la relación C/N no describe el proceso de mineralización de la MO. De acuerdo a Pineiro et al. [33] la relación C/N depende de las fracciones de la MO que sean fácilmente degradadas.

Los coeficientes de correlación entre la relación C/N y parámetros del suelo indican que no son significativos o que no hay una correlación en absoluto, tal es el caso del pH, CE del presente trabajo. La

MO al igual que el C orgánico correlacionan de manera positiva y significativa ($p < 0.05$) con la relación C/N y C orgánico, significa que a mayor contenido de MO en el suelo existirá un incremento en la relación C/N determinado como el índice entre el contenido de C orgánico y N total, que de acuerdo a Fuentes [12] en cuanto mayor sea la relación C/N (> 15) la liberación de N será muy escasa, lo que indica que la MO presente en los suelos agrícolas exhibe un lento proceso de descomposición [34].

Tabla II. Análisis de correlación entre variables edáficas y la relación C/N.

| | pH | CE | CIC | MO | C orgánico | C/N | N |
|------------|----|-------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| pH | | 0.075 | 0.140 | 0.237 | 0.237 | 0.002 | 0.292 |
| CE | | | 0.037 | 0.084 | 0.085 | -0.152 | 0.183 |
| CIC | | | | 0.877* | 0.877* | 0.645* | 0.698* |
| MO | | | | | 1.00* | 0.643* | 0.863* |
| C orgánico | | | | | | 0.645* | 0.862* |
| C/N | | | | | | | 0.179 |
| N | | | | | | | |

* $p < 0.05$. Coeficiente de Pearson.

Al analizar la relación lineal entre la relación C/N y la CIC, el contenido de MO y C orgánico (Tabla 2) se observó el modelo ajustado entre la CIC y la relación C/N, el cual fue significativo y explica el 33.8% de la variabilidad de los datos, de la misma manera, el modelo entre la relación C/N y el contenido de MO, C orgánico explica el 41 % de la variabilidad por cada variable (Tabla 3). La relación C/N influye en la descomposición de los materiales orgánicos, debido a que el N es un parámetro muy importante en la actividad de los microorganismos [35]. Tiquia et al. [36] encontraron que la relación C/N de la MO presente en el suelo en un inicio es el factor más importante que va a afectar la pérdida de N y C orgánico; relaciones C/N bajas determinadas como índices significan que los microorganismos utilizan todo el C antes y al N lo estabilizan. La cantidad de C y N que generan los residuos orgánicos se degrada de diferente manera, pero la significancia disminuye cuando el material se encuentra más humificado [35]. Watt y Palmer [37] sugieren que la relación C/N es un indicador útil de la fertilidad de suelos agrícolas, este índice y sus variaciones se podrían atribuir al clima, a las propiedades del suelo, cubierta vegetal, así como a las emisiones de CO₂, el cual es especialmente importante teniendo en cuenta el cambio climático.

Tabla III. Análisis de regresión lineal entre C/N, CIC, MO y C orgánico.

| Variable | C/N = m (x) + b n=75 | | |
|------------|-------------------------|-----------|----------------|
| | m | b | R ² |
| CIC | 0.249 * | 7.082 * | 33.8% * |
| MO | 0.304 * | 0.0042 ns | 41.0 % * |
| C orgánico | 0.173 * | 0.0295 ns | 41.0 % * |

m = pendiente, b = intercepto, R² = coeficiente de determinación. * = nivel de significancia al 95%.

IV. CONCLUSIONES

Los suelos agrícolas de los sitios seleccionados presentaron un pH moderadamente ácido, la cantidad de MO fue muy baja al igual que la CIC, por lo que los suelos presentan pocos sitios de intercambio. Con base en el porcentaje de MO los suelos muestran un deterioro importante, que si no se atiende se pueden generar problemas severos de degradación en un futuro. El análisis de correlación mostró que a mayor contenido de MO en los suelos bajo estudio existirá una mayor relación C/N, lo que exhibe un

lento proceso de descomposición de la MO. En el estado de Tlaxcala son escasos los trabajos registrados que tomen en consideración la evaluación del contenido de MO principalmente de suelos agrícolas, así como la relación C/N determinada como un índice que señala el grado de mineralización; por lo que con este estudio se genera un conocimiento importante, el cual puede ser calificado para proponer estrategias de manejo para los suelos bajo estudio, como es la aplicación de enmiendas orgánicas, lo que favorecerá el incremento en el contenido de MO en el suelo.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo al proyecto UATLx-EXB-226, PROMEP/103.5/12/3714

REFERENCIAS

- [1] J. Galantini y L. Suñer, “Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina”, *Agriscientia*, vol. XXV, pp. 41-55, 2008.
- [2] M. Corvasce, A. Zsolnay, V. D’Orazio, R. López, T. Miano. “Characterization of water extractable organic matter in a Deep soil profile”, *Chemosphere* vol. 62, pp. 1583-1590, 2006.
- [3] H. González O., S. Sadeghian K., D. Zapata H. R., B. Mejía M. “Fraccionamiento de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera de Caldas”, *Cenicafé* vol. 59, pp. 310-320, 2008.
- [4] Rodríguez C., W. Cortiza M. A., A. Pereira M. C., A. Chacón I., S. Gattorno M., O. Rodríguez L., A. Rodríguez U., R. Jiménez C., N. Torres A. P. 2015. “Determinación VIS/NIR del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas pardos mullidos medianamente lavados”, *Centro Agrícola* vo. 42, pp. 5-12. 2015.
- [5] M. Espinosa R., E. Andrade L., P. Rivera O., y A. Romero D. “Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*”, vol. 53-54, pp. 77-78, 2011.
- [6] R. López F. “Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación. Serie: Suelos y Clima” SC. 75. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 2002, 280 p.
- [7] Navarrete S., G. Vela C., J. López B., y L. Rodríguez G. “Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo”, *Revista ContactoS*, vol. 80, pp. 29-37, 2011.
- [8] M. Ribeiro C. “Relation and change overtime of CN-ratios throughout Swedish peatlands and in seven fertility clases”. Master’s Thesis in Environmental Science. Swedish University of Agricultural Sciences. 2012, 39 p.
- [9] M. Kaleem A., M. Mahmood Tahir, N. Sabir, M. Khurshid. “Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization-immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions”, *Solid Earth* vol. 6: 197-205, 2015.
- [10] F. Amaral and M. Abelho. “Effects of agricultural practices on soil and microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus content: a preliminary case study”. *Web Ecol.*, vol. 16, pp. 3-5. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73., 2016.
- [11] Ge Shunfeng, Xu Haigang, J. Mengmeng, J. Yuanmao. “Characteristics of soil organic carbon, total nitrogen, and C/N ratio in chinese Apple Orchards”. *J. Soil Sci.* vol. 3, pp. 213-217, 2013.
- [12] J. L. Fuentes Y. “El suelo y los fertilizantes”. 4ª edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid, España, 1994, 327 p.
- [13] INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). “Prontuario de información geografía municipal de los estados unidos mexicanos. Teolocholco y Tetlanohcan, Tlaxcala. Clave geoestadística 29028 y 29050, 2009, 9 p.

- [14] DOF (Diario Oficial de la Federación) NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. 31 de diciembre de 2002. 85 pp. 2002.
- [15] Jackson M. “Análisis químico de suelos”. Trad. al español por M. J. Beltrán. 3ª. edición. Omega. Barcelona, España. 1976.
- [16] Richards L. “Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos”. 6ª. edición. Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. Limusa. México, D.F. 1990.
- [17] D. Chapman H. “Cation exchange capacity”. In: C. A. Black (ed.). *Methods of analysis. Part. 2. Agronomy -9.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin., 1965. pp. 891-901.
- [18] Bremner J. “Total nitrogen”. In: C. A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part. 2 Agronomy 9.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, 1965, pp. 1149-1178.
- [19] DOF, Diario Oficial de la Federación - NMX-AA-67-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de la relación carbono/nitrógeno. 6 de Noviembre de 1992. 2 pp. 1992.
- [20] Di Rienzo J. A., F. Casanoves, G. Balzarini M., L. Gonzalez , M. Tablada, W. Robledo C. “InfoStat”, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2008.
- [21] H. Rodríguez F., J. Rodríguez A. “Métodos de análisis de suelos y plantas”. Trillas. México, D. F., 2002, 196 p.
- [22] E. García G., E. Hernández A., O. A. Acevedo S., F. Prieto G. “Cu, Fe, Mn y Zn en suelos agrícolas localizados al noroeste de Tlaxcala, México”. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 1, pp. 205-212, 2014.
- [23] Micó, L. Recatalá, M. Peris, J. Sánchez. “Discrimination of lithogenic and anthropogenic metals in calcareous agricultural soils: a case study of the lower Vinalopó region (SE Spain)”. *Soil Sediment Contam.*, vol. 17, pp. 467 – 485, 2008.
- [24] J. Romanyà, P. Rovira, B. Duguay, R. Vallejo, and A. Rubio. “C sequestration issues in the Mediterranean soils, in: *Greenhousegas Budget of Soils under Changing Climate and Land Use (Burnout)*”, edited by: Jandl, R. and Olsson, M., BFW, pp. 15–22, 2007.
- [25] E. Sakin, A. Deliboran, E. D. Sakin, H. Aslan. “Carbon and nitrogen stocks an C:N ratio of Harron plain soils”, *Nat. Sci. Biol.*, vol. 2, pp. 104-110, 2010.
- [26] Navarro S. y G. Navarro G. “Química agrícola”. 2ª. edición. Mundi-Prensa, S.A. de C.V. México, D. F. 2003. 432 p.
- [27] W. S. Boul, D. Hole F., J. McCracken R. 2004. “Génesis y clasificación de suelos”. 4ª. Reimpresión. Ed. Trillas, México, D.F., 2004. 90 p.
- [28] Z. Castellanos, J., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. “Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas”. 2da. edición. Instituto de Capacitación para la Producción Agrícola. Celaya, Guanajuato, México, 2000.
- [29] Báez P., J. D. Etchevers B., C. Hidalgo M., C. Prat, V. Ordaz Ch., R. Núñez E. “C org y P-olsen en tepetates cultivados de México”, *Agrociencia* vol. 36, pp. 643-653, 2002.
- [30] Haulon, G. Werner, G. Flores G., A. Vera R., F. Henningsen P. “Assessment of erosion rates during rehabilitation of hardened volcanic soils (tepetates) in Tlaxcala”. *Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24, pp. 498-509, 2007.
- [31] J. Gama C., E. Solleiro R., D. Flores R., Sedov S., H. Cabadas B., J. Díaz O. “Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glacis de Buenavista, Morelos”. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LIX Núm. 1, pp.133-145, 2007.
- [32] Jaradat, A., J. M. F Johnson, S. L. Weyers and N.W. Barbour. 2009. “Determinants and prediction of carbon/nitrogen ratio in five diverse crop plants”, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, vol.40, pp. 2688-2711, 2009.

- [33] G. Pineiro, M. Oesterheld, B. Batista W., M. Paruelo J. "Opposite changes of whole-soil vs pools C:N ratios: a case of simpson's paradox with implications on nitrogen cycling". *Global Change Biology*, vol. 12, pp. 804-809, 2006.
- [34] J. F. Ruíz F. "Ingeniería del compostaje". 1a. edición. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, 2009, 237 p.
- [35] P. Pramanik, K. Ghosh G., K. Ghosal P., P. Banik. "Changes in organic -C, N, P and K enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants, *Bioresource Technology*, vol. 98, pp. 2485-2494, 2007.
- [36] Tiquia S., L. Richard T., S. Honeyman M. "Carbon, nutrient and mass loss during composting". *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 15-24, 2002.
- [37] S. Watt M. y J. Palmer D. "Use of regression kriging to develop a carbón: nitrogen ratio surface for New Zealand", *Geoderma*, vol. 183-184, pp. 49-57, .I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in *Magnetism*, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 71-350, 2012.