



Modelado de la mineralización de la gallinaza de jaula bajo el efecto de *Alphitobius diaperinus* “escarabajo del estiércol”

Modelling of the mineralization of the poultry manure under the effect of *Alphitobius diaperinus* “manure beetle”

Miguel Angel Rodríguez Alza^{1,*}; Guillermo David Evangelista Benites²

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Mz. G Lt. 24 Urb. Dean Saavedra. El Cortijo, San Isidro - Trujillo, Perú.

² Escuela de Postgrado, Universidad Nacional de Trujillo, Avenida Juan Pablo II s/n Ciudad Universitaria. Trujillo, Perú.

RESUMEN

Se realizó un trabajo de investigación con el objetivo de modelar la mineralización de la gallinaza de jaula bajo el efecto de *Alphitobius diaperinus* “escarabajo del estiércol”. Para diferenciar las características de la gallinaza se ejecutó un experimento completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones; un tratamiento bajo el efecto del escarabajo y el otro sin escarabajos. Para modelar la mineralización se utilizó el Software POLYMATH 6.0. Se determinó que la gallinaza de jaula tiene características significativamente diferenciadas; presenta menor concentración de huminas. Al modelar se establece una relación de dependencia entre las huminas y los ácidos húmicos y fúlvicos. Se concluye que la evolución de los ácidos húmicos determina la formación de huminas.

Palabras clave: Ácidos húmicos; ácidos fúlvicos; huminas; gallinaza; *Alphitobius diaperinus*.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to model the mineralization of the poultry manure under the effect of *Alphitobius diaperinus* “dung beetle”. To differentiate the characteristics of the chicken manure, a completely randomized experiment was carried out with two treatments and four repetitions, one treatment under the effect of the beetle and the others without beetles. The POLYMATH 6.0 Software was used to model the mineralization. It was determined that the poultry manure has significantly different characteristics and presents lower concentration of humins. Modeling establishes a dependency relationship between humins and humic and fulvic acids. It is concluded that the evolution of humic acids determines the formation of humins.

Keywords: Humic acids; fulvic acids; huminas; poultry manure; *Alphitobius diaperinus*.

1. Introducción

El estiércol como materia orgánica no es estable en su propiedad físico-química y biológica, varían en función al tiempo, en base a factores endógenos y exógenos como medio ambiente, bacterias degradadoras, insectos, etc.

La gallinaza de jaula es una enmienda que abunda en países donde se cría gallina ponedora en jaulas. En este sistema de crianza, las deyecciones se reciben y almacenan bajo las jaulas en zanjas de 0,75 a 1,0 m de profundidad durante todo el periodo de producción del ave. En el estiércol almacenado existen unos gorgojos negros en cantidades impresionantes a razón de 1 a 2 por cm². Este escarabajo es *Alphitobius diaperinus*, el cual fue

introducido al Perú hace una década a la zona avícola de Chíncha - Ica para su explotación como controlador biológico de *Musca domestica*. “mosca común” las que se habían convertido en plaga para la avicultura. *Alphitobius diaperinus* se diseminó a tales términos que se le encuentra en casi todas las granjas del mundo que utilizan jaulas para la crianza de gallinas ponedoras, en nuestro medio se encuentra muy diseminado probablemente por las condiciones climáticas.

La materia orgánica del suelo procede de los restos de organismos caídos sobre su superficie, principalmente hojas, residuos de plantas, estiércol y organismos muertos. Este material recién incorporado es el que se conoce como “materia

orgánica fresca", la cual deja de serla al momento de entrar en contacto con el suelo, donde comienza un proceso de descomposición o autólisis, provocado por los propios sistemas enzimáticos de organismos como artrópodos de diversas clases, gran número de larvas y sobre todo de insectos en su mayoría saprófagos, coprófagos, omnívoros y depredadores; estos viven en asociación, interactuando con otras especies y con su medio. El papel de esta fauna es doble, por una parte, digieren los restos y los transforman dejando en su lugar sus excretas, en las que aparecen sustancias más sencillas mezcladas con microorganismos de su intestino y del propio suelo, que fueron ingeridos con los restos; de otra parte, realizan una función de trituración que provoca un incremento notable de la superficie de los restos y ayuda al ataque de los microorganismos de vida libre que habitan en la hojarasca o en las capas altas del suelo. Estos primeros fragmentos presentan una estructura vegetal reconocible hasta que se inicia el ataque de los hongos, que son los primeros microorganismos en degradar los restos vegetales seguidos por bacterias saprófagas (Donahue *et al.*, 1981). De esta manera se da inicio a la biodegradación de la materia orgánica en el suelo, la que ha sido ampliamente estudiada (Thomas *et al.*, 2015) desde que se conoce que la materia orgánica es uno de los componentes más importantes del suelo (Kononova, 1966) y que es responsable de la fertilidad física, química (Stevenson, 1982a, 1982b y 1985) y biológica de este (Schnitzer, 1978 y Díaz, 1989) así como del comportamiento bioquímico principalmente en la capa arable (Schnitzer, 1978 y Stevenson, 1982a), la evolución de los compuestos húmicos (Schnitzer, 1978) y como consecuencia de ello, del buen desarrollo de las plantas y alto rendimiento de los cultivos (Díaz, 1983 y 1989).

La cantidad de compuestos húmicos formados a partir de los residuos orgánicos aplicados al suelo, depende principalmente de la composición de los residuos; así mismo, la biodegradación de los diferentes tipos de moléculas que se encuentran en los residuos es efectuada por grupos específicos de microorganismos (Schnitzer, 1978; Stevenson, 1982b, 1985; Tate, 1987). Wade *et al.* (2016), señalan que los índices biológicos y químicos son variables en su capacidad para predecir la mineralización.

El estiércol constituye una de las principales fuentes de materia orgánica y es obtenido en grandes volúmenes como subproducto de la crianza de gallinas ponedoras. La gallinaza como todo abono orgánico incrementa el porcentaje de

materia orgánica del suelo y su actividad biológica, aumenta la retención humedad y contiene altos niveles de nutrimentos para la planta (Donahue *et al.*, 1981). Estudios actuales demuestran que después de 5 años aplicaciones de nitrógeno orgánico garantizan mayor disponibilidad de nitrógeno que campos que han recibido nitrógeno inorgánico en el mismo periodo (Sadeghpour *et al.*, 2016).

Franklin *et al.* (2015), determinaron que los abonos orgánicos pueden ser útiles enmiendas para proporcionar nutrimentos como nitrógeno y fósforo, pero la mineralización y la liberación neta puede variar enormemente entre las fuentes. En consecuencia, es importante identificar las características de las enmiendas que controlan estos procesos. Además, la magnitud de estos procesos puede ser afectada por el tamaño de la partícula de la enmienda. Estos resultados indican que el compost tamizado para obtener fracciones de tamaño específico puede afectar la tasa de mineralización de nitrógeno.

Actualmente, se utiliza espectrofotometría de reflectancia para caracterizar las propiedades de un suelo; a este método también se le conoce como refracción o absorción atómica de masas. Wang *et al.* (2016), evaluaron la evolución de la materia orgánica y a partir de un análisis estadístico multivariado construyeron modelos predictivos, los cuales funcionaron muy bien sobre todo en suelo tamizado.

Nicoloso *et al.* (2016), determinan que el uso de modelos matemáticos que predicen la dinámica SOC (Carbono orgánico del suelo) puede proporcionar información relevante sobre el potencial de almacenamiento de carbono de los suelos agrícolas. Se evaluaron tres modelos matemáticos (Cinética de primer orden, carbono de saturación, y cinéticas previas a la saturación) para predecir la dinámica del SOC y el estado de equilibrio de un suelo Hapludol del centro de Kansas.

La espectroscopía permite realizar estudios de la evolución de la MOS (materia orgánica del suelo); estos análisis son muy precisos y permiten modelar el comportamiento en otros tipos de suelo. Ma *et al.* (2016), elaboraron un modelo a partir de espectroscopia foto acústica usando infrarrojo medio para la predicción de la MOS; aseguran que la cuantificación rápida de la materia orgánica del suelo (MOS) es importante en la producción de cultivos y en la evaluación de la fertilidad del suelo. El modelo auto-adaptativo se estableció a través de: (i) la identificación de muestras de suelo, seleccionadas por la distancia euclídea, con

espectros similares de suelo para el objetivo (desconocido); muestras de suelo y clasificación de los valores de las distancias euclidianas en orden ascendente; (ii) la selección de los parámetros óptimos para construir mínimos cuadrados parciales (PLS), modelo basado en un subconjunto de la muestra de calibración óptima; y (iii) la predicción y la validación de la muestra de suelo desconocida. Se compararon las capacidades de predicción del modelo y PLS convencionales de modelos auto-adaptativos; los modelos auto-adaptativos y PLS convencionales tenían valores R^2 de 0,9293 y 0,5796, cuadrados medios de error de predicción de 1,65 y 3,26 g.kg⁻¹, y los coeficientes de desviación porcentual (RPD) de 3,18 y 1,62, respectivamente. Por lo tanto, el modelo auto-adaptable mostró un mayor potencial para la aplicación.

Liu et al. (2013), desarrollaron una técnica para inmovilizar Cadmio. Los resultados mostraron que las concentraciones específicas de ácido húmico promueven la adsorción de Cd²⁺, lo que puede atribuirse a la formación de complejos de ácido húmico con Cd²⁺. Esta tecnología también puede ser eficaz para la inmovilización de otros iones metálicos, incluyendo Cu²⁺, Zn²⁺ y Pb²⁺.

Otras investigaciones demuestran que los modelamientos a partir de datos experimentales en el rastreo de la evolución de la materia orgánica son fiables, más aún si los análisis de suelo usaron espectrofotometría de masas. Kerber et al. (2015), determinaron un nuevo modelo que vincula el transporte y la intensidad de la mineralización difusiva de la materia orgánica, como una función que mide la distancia desde las resinas de intercambio aniónico. Se podría describir la distribución del PO (fósforo orgánico) espacial observado y su acumulación en la resina; sin embargo, se necesitan más estudios para tener en cuenta los mecanismos de precipitación como en modelos para el transporte de fósforo.

2. Material y métodos

Para obtener gallinaza se contó con 2 módulos de crianza en jaulas. Cada módulo estuvo conformado por 20 jaulas y 7 gallinas en cada jaula. Se instaló un experimento completamente al azar con 2 tratamientos y 4 repeticiones, cada repetición era una unidad experimental. Se emplearon 280 gallinas de la línea Hy Line variedad Brown de 17 semanas de edad y peso similar; 140 gallinas para el tratamiento 1 (I₀) "sin inóculo de escarabajos" y 140 gallinas para el tratamiento 2 (I₁) "con inóculo de escarabajos". Las gallinas recibieron el mismo manejo alimenticio. Se utilizaron individuos adultos

de *Alphitobius diaperinus* "escarabajo del estiércol" y se inocularon en las unidades del tratamiento con inóculo. Se instalaron debajo de cada unidad bolsas de malla metálica, las deposiciones cayeron y se acumularon dentro de las bolsas. Periódicamente se inocularon individuos adultos del escarabajo en las 4 bolsas correspondientes al tratamiento con inóculo. El estiércol de cada tratamiento fue retirado de las jaulas a los 91 días de iniciadas las deposiciones, y puesto en pre descomposición por 45 días.

Después del periodo de incubación se realizaron las siguientes mediciones a cada unidad experimental con las técnicas señaladas:

Ácidos Fúlvicos (%): Duchaufour y Jaquin (1967) y Díaz (1989).

Ácidos Húmicos (%): Duchaufour y Jaquin (1967) y Díaz (1989).

Huminas (%): Duchaufour y Jaquin (1967) y Díaz (1989).

Para el modelado, se estableció el caso en el Software POLYMATH 6.0 (Copyright © 2000, 2004, 2006 Mordechai Shacham, Michael B. Cutlip and Michael Elly) con las mediciones obtenidas en relación a los ácidos húmicos, fúlvicos y huminas del tratamiento con inóculo. Se aplicó un análisis de regresión lineal múltiple donde participaron como variables independientes los ácidos húmicos y fúlvicos; y como variable dependiente las huminas. Se validó el modelo con un análisis de varianza en Excel y una prueba t.

3. Resultados y discusión

La tabla 1 muestra en porcentaje la distribución de los compuestos húmicos para ambos tratamientos, la suma de estas fracciones es 100 %. Respecto a los ácidos fúlvicos, los promedios con y sin inóculo de *A. diaperinus* no presentan diferencia significativa ($p > 0,05$), sin embargo, en ambos tratamientos la proporción de ácidos fúlvicos es mayor a la proporción de ácidos húmicos y huminas. Los ácidos fúlvicos constituyen una fracción ligada al material mineral con la característica de ser poco policondensados, además de ser solubles en medio ácido y alcalino (Díaz, 1989).

Respecto a los ácidos húmicos, se presenta diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos con inóculo (I₁= 43% A.H.) y sin inóculo (I₀= 32% A.H.) de *A. diaperinus* con bajos coeficientes de variabilidad. Los ácidos húmicos son más policondensados que los fúlvicos, se encuentran más ligados a la fracción mineral del suelo, son solubles en medio ácido y alcalino y presentan núcleos aromáticos (Díaz, 1989).

Tabla 1

Análisis químico de la gallinaza de jaula

Unidades Experimentales	A.F. %	A.H. %	H %
1 - I0	45,24	31,31	23,45
3 - I0	40,45	32,99	26,56
6 - I0	45,44	28,88	25,68
7 - I0	40,92	33,09	25,99
2 - I1	44,87	47,65	7,48
4 - I1	48,32	40,79	10,89
5 - I1	47,56	43,67	8,76
8 - I1	50,32	41,75	7,93

Fuente: Laboratorio de suelos: INIA - Cajamarca, UNC.

A.F. = Ácidos fúlvicos. A.H. = Ácidos húmicos. H. = Huminas
I0 = Sin inóculo de *A. diaperinus*. I1 = Con inóculo de *A. diaperinus*.

Respecto a las huminas, las proporciones promedio para los tratamientos en estudio presentan diferencia significativa ($P < 0.05$) con bajos coeficientes de variabilidad, presentándose mayor proporción en el tratamiento sin inóculo; demostrándose que en ausencia del escarabajo se forman más cadenas policondensadas. En general las sustancias húmicas facilitan la absorción de nutrientes por las plantas al aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Donahue et al., 1981). Al respecto Terashima et al. (2003) junto a Balcke et al. (2002) corroboran al afirmar que los compuestos húmicos se unen por absorción a los minerales de arcilla y se desarrolla un papel importante en la formación de hidrocarburos aromáticos y cadenas policondensadas fácilmente mineralizables en el suelo y éstas facilitarán la disponibilidad del nitrógeno para las plantas.

Los resultados del fraccionamiento del humus evidencian la actividad del escarabajo *A. diaperinus* demostrando que la gallinaza de jaula con escarabajos permite mayor salida de nutrientes en el suelo por tener menor estabilidad química, es de fácil descomposición, tiene mayor actividad biológica y forma mayor cantidad de agregados en el suelo que con el estiércol sin escarabajos que presenta mayor cantidad de cadenas policondensadas. Probablemente en la tarea de consumo activo de materia orgánica por parte del escarabajo se recicla parte del estiércol y retarda el proceso de mineralización de dicha porción (Lyon, 1991).

Los resultados expresados en la Tabla 1 evidencian una evolución de ácidos fúlvicos hacia huminas. Por definición, las huminas presentan mayor cantidad de cadenas policondensadas, estas cadenas policondensadas son de difícil absorción, pero de fácil adsorción; este proceso de policondensación se da durante el proceso de mineralización de la materia orgánica, por lo tanto,

para fines agronómicos se prefiere que la materia orgánica no esté policondensada porque durante este proceso se liberan los nutrientes a la solución del suelo y se forman agregados. Una materia orgánica que tenga mucho tiempo de mineralización presentará mayor cantidad de cadenas policondensadas y de huminas. La cantidad de huminas depende de la concentración inicial de ácidos fúlvicos y húmicos (Wade et al., 2016).

Tabla 2

Análisis de varianza de la regresión

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	6,86403	3,43201	45948,52	0,0033
Residuos	1	7,469E-05	7,469E-05		
Total	3	6,8641			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	99,9847095	0,358203522	279,12821	0,00228
Variable X1	-0,999789577	0,004612258	-216,76791	0,00294
Variable X2	-0,999936981	0,003426146	-291,85479	0,00218

	AF	AH	H	Hcalc	ERP
01	44.87	47.65	7.48	7.477153	0.000669
02	40.32	40.79	10.89	10.88745	0.002345
03	47.56	43.67	8.76	8.767469	0.0052492
04	50.32	41.75	7.93	7.927929	0.0061339

Figura 1. Procesamiento con POLYMATH 6.0.

POLYMATH Report
Multiple linear regression

Model: $H = a_0 + a_1 \cdot AF + a_2 \cdot AH$

Variable	Value	95% confidence
a0	99.98471	4.551692
a1	-0.9997896	0.0046108
a2	-0.999937	0.0034336

General
Number of independent variables = 2
Regression including a free parameter
Number of observations = 4

Statistics

R ²	0.9999891
R ² adj	0.9999674
Rmsd	0.0021606
Variance	7.469E-05

Source data points and calculated data points

	AF	AH	H	H calc.	Delta H
1	44.87	47.65	7.48	7.477154	0.002846
2	40.32	40.79	10.89	10.88745	0.002523
3	47.56	43.67	8.76	8.767469	-0.0074693
4	50.32	41.75	7.93	7.927929	0.002071

Figura 2. Reporte del Modelamiento.

Al aplicar un análisis de regresión lineal múltiple estableciendo a las huminas como dependientes de la concentración de ácidos fúlvicos y húmicos, se establece el siguiente modelo (1 y 2).

$$H = a_0 + a_1 \cdot AF + a_2 \cdot AH \quad (1)$$

$$H_{cal} = -0,9997896 \cdot AF - 0,999937 \cdot AH + 99,98471 \quad (2)$$

AF: Ácidos fúlvicos; AH: Ácidos húmicos; H: Huminas.

Se encontró que los valores del coeficiente de determinación R^2 es 0,9999891; la varianza de $7,479 \cdot 10^{-5}$ y el error relativo porcentual ERP cercano a 0 (Figura 1 y 2), indican que modelo tiene alto ajuste y los resultados experimentales alta confiabilidad. Al realizar el análisis de varianza de la regresión (Tabla 2) los estadísticos validan el modelo encontrado (2).

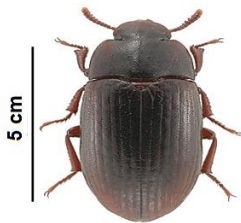


Figura 3. *Alphitobius diaperinus* adulto.



Figura 4. Experimento para inocular *A. diaperinus*

4. Conclusiones

Se concluye que *A. diaperinus* mejora la distribución de las fracciones húmicas de la gallinaza de jaula. La gallinaza de jaula presenta menor concentración de huminas evidenciando un proceso de mineralización más largo y eficiente; lo que favorece la formación de agregados y la liberación de nutrientes en suelo. La relación evolutiva de los ácidos húmicos responde al siguiente modelo:

$$H_{cal} = -0,9997896 \cdot AF - 0,999937 \cdot AH + 99,98471$$

El reporte de los estadísticos expresa la validez del modelo.



Figura 5. Gallinaza en reposo.



Figura 6. Gallinaza sin y con *A. diaperinus*.

Agradecimientos

Agradecimiento especial al Dr. Jiefar Emerio Díaz Navarro, q.e.p.d., por la orientación y aporte a la concretización de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Balcke, G.; Lulikova, N.; Hesse, S.; Franco-Dieter, K.; Perminova, I. and Frimmel, F. 2002. Adsorption of Humic Substances onto Kaolin Clay Related to Their Structural Features. *Soil Science Society of America Journal*. U.S.A. 66: 1805-1812.
- Diaz, J. 1989. Etude de l'influence de la paille de blé sur les fractions azotées organiques et minérales d'un sol cultivé et estimation de son importance dans l'alimentation azotée du blé par l'emploi de l'isotope lourd ^{15}N . Ph. D. Thesis in French. *Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique*. 221 p.
- Diaz N.J. 1983. Efecto del bio abono efluente en la capacidad de retención de humedad de algunos suelos de Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca*. 22 p.
- Donahue, R.; Miller, R.; Shickuna, J. 1981. *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas*. (Trad. Peña, J.) Edit. Dossat S. A. Madrid, España. 624 pp.
- Duchaufour, Ph.; Jacquin, F. 1967. Méthodes d' extraction et de fractionnement des composés humiques. *Bull. A.F.E.S. Science du Sol* 6: 15-21.
- Franklin, D.; Bender-Özeng, D.; Özeng, N.; Cabrera, M. 2015. Nitrogen mineralization and phosphorus release from composts and soil conditioners found in the Southeastern United States. *Soil Science Society of America Journal* 79(5): 1386-1395.
- Kerber, K.; Zirkler, D.; Kaupenjohann, M.; Peters, A. 2015. Phosphorus Mineralization and Transport in the Vicinity of an Anion Sink: Experiment and Modeling. *Soil Science Society of America Journal* 79(6): 1684-1692.

- Kononova, M. 1966. *Soil Organic Matter*. Pergamoun Press. London.
- Liu, X.; Zheng, W.; Sun, K.; Lin, C.; Zhao, Y. 2013. Immobilization of cadmium onto activated carbon by microwave irradiation assisted with humic acid. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 44(6): 972-976.
- Lyon, G. 1991. *Alphitobius diaperinus*, poco gusano de la harina, escarabajo de la tierra, insect negro, escarabajo darkling. Departamento de Entomología. Universidad del estado de Ohio. U.S.A. 1: 4-6.
- Nicoloso, R.S.; Rice, C.W.; Amado, T.J. 2016. Kinetic to Saturation Model for Simulation of Soil Organic Carbon Increase to Steady State. *Soil Science Society of America Journal* 80(1): 147-156.
- Ma, F.; Du, C.; Zhou, J. 2016. A Self-Adaptive Model for the Prediction of Soil Organic Matter Using Mid-Infrared Photoacoustic Spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal* 80(1): 238-246.
- Sadeghpour, A.; Ketterings, Q.M.; Vermeylen, F.; Godwin, G.S.; Czymmek, K.J. 2016. Soil Properties under Nitrogen-vs. Phosphorus-Based Manure and Compost Management of Corn. *Soil Science Society of America Journal* 80(5): 1272-1282.
- Schnitzer, M. 1978. Humic substances. En Schnitzer, M. y Khan, S. *Soil Organic Matter*. Elsevier Scientific Publishing Company. 1 – 58 pp.
- Stevenson, F. 1982a. Nitrogen – Organic forms. In Page A. L. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy* 9. Madison, Wisconsin. 625 – 698 pp.
- Stevenson, F. 1982b. *Humus chemistry, Genesis, composition, Reactions*. Wiley Interscience Publications. 440 pp.
- Stevenson, F. 1985. *Cycles of soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. Wiley Interscience Publications. 380 pp.
- Tate, R. 1987. *Soil Organic Matter. Biological and Ecological Effects*. Wiley Interscience Publications. 291 pp.
- Terashima, M.; Tanaka, S. and Fukushima, M. 2003. Distribution Behavior of Pyrene to Adsorbed Humic Acids on Kaolin. *Journal Environ. Qual.* U.S.A. 32: 591-598.
- Thomas, B.W.; Sharifi, M.; Whalen, J.K.; Chantigny, M.H. 2015. Mineralizable nitrogen responds differently to manure type in contrasting soil textures. *Soil Science Society of America Journal* 79(5): 1396-1405.
- Wade, J.; Horwath, W.R.; Burger, M.B. 2016. Integrating Soil Biological and Chemical Indices to Predict Net Nitrogen Mineralization across California Agricultural Systems. *Soil Science Society of America Journal* 80(6): 1675-1687.
- Wang, C.; Feng, M.C.; Yang, W.D.; Ding, G.W.; Wang, H.Q.; Li, Z.H.; Shi, C.C. 2016. Use of Spectral Character to Evaluate Soil Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal* 80(4): 1078-1088.

