

Quality Assessment of the Soils Used for Urban Agriculture in Seoul and its Vicinity

Ga-Hee Lim, Sol-Yi Park¹, Da-Som Jeon, Jung-Hwan Yoon, Dan-Bi Lee, Jun-Seok Oh, and Kye-Hoon Kim*

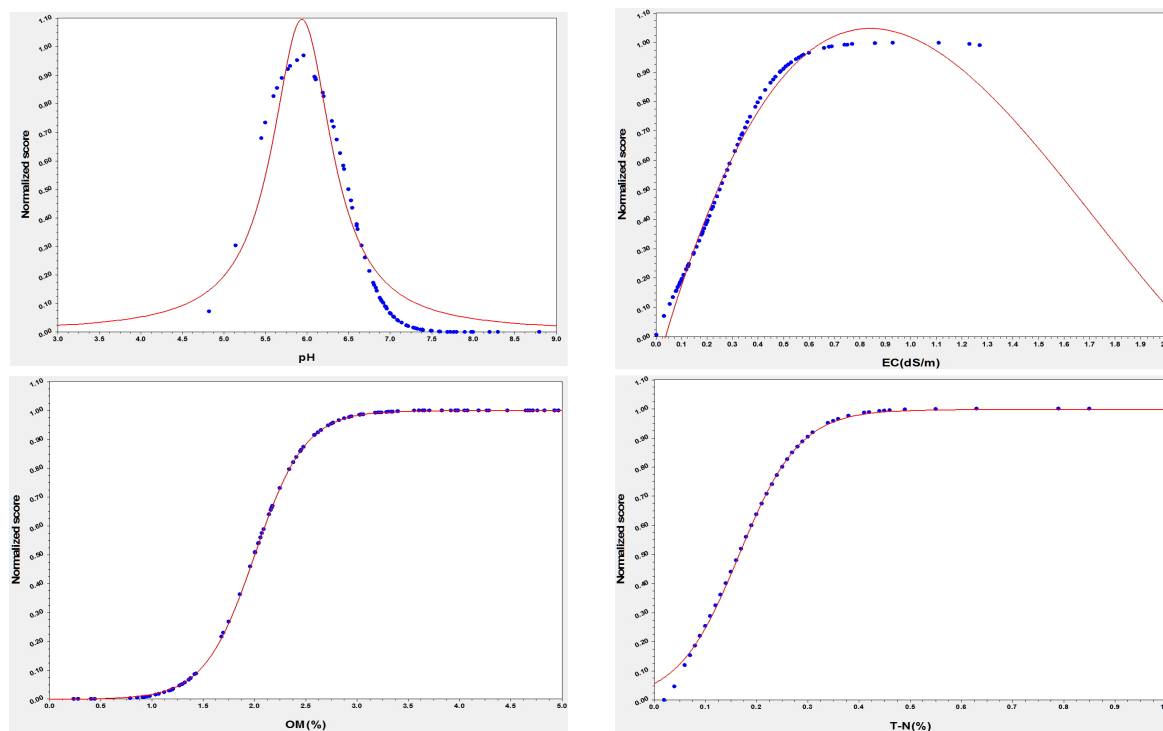
Department of Environment Horticulture, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

¹*National Instrumentation Center for Environmental Management Branch Institute, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea*

(Received: October 21 2016, Revised: October 27 2016, Accepted: October 28 2016)

Soil quality assessment is an important tool for environmental management in an agricultural field. It can be used to evaluate the health of the soils and to establish the basis for sustainable urban agriculture and soil management. For this study, the chemical properties of the soils used for urban agriculture were examined. Results of the soil analysis for chemical properties were applied to soil quality assessment system, which is composed of principal component analysis, application to scoring function and derivation of soil quality index (SQI). Soil pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), total nitrogen (T-N) were determined for minimum data set (MDS) according to principal component analysis. Based on the results of scoring for four indicators (pH, EC, OM, T-N), soil pH was the indicator that needs the most urgent management. Results of SQI derivation showed that many of the urban farms appeared to be insufficient score in comprehensive soil quality assessment. In conclusion, soil management practices based on scores derived from soil chemical indicators need to be carried out to maintain sustainable urban agricultural soil environment and to provide easy-to-understand information to urban farmers.

Key words: Urban agriculture, Soil quality assessment, Soil quality index, Soil chemical property, Scoring function



Distribution of soil quality assessment scores for 130 soils used for urban agriculture according to each main indicator.

*Corresponding author: Phone: +82264902689, Fax: +82222144030, E-mail: johnkim@uos.ac.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ01018203)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

우리나라에서는 근래에 도시농업 활성화 정책 및 도시민들의 관심 증대로 도시 텃밭 면적이 증대되었으나, 재배 환경의 위험요소 노출도가 높은 도시농업에서 안전하고 질 높은 농산물을 체계적인 관리하에 도시민들이 재배, 생산할 수 있도록 하는 관리방안 구축은 미비한 실정이다. 지금까지 도시농업 관련 연구는 도시농업 생산 환경 보다는 도시농업의 현황과 활성화 방안 등에 대한 연구 위주로 이루어져 왔다 (Hwang et al., 2010; Kang et al., 2007; Na, 2010; Park and Lee, 2012). 도시농업 현장에서 양질의 작물 생산과 지속 가능한 도시농업 생산 활동을 위해서는 토양의 양분 및 작물의 양분요구도 등을 고려하여 작물을 재배해야 하지만, 그 동안 도시민들이 이해하기 쉽게 도시 텃밭 토양환경의 건전성을 확인하고 이해할 수 있는 제도적 장치는 불충분했던 것이 현실이다. Qi et al. (2009)와 Rahmanipour et al. (2014)은 각각 중국과 이란에서 농경지의 토양 질을 평가하였고, 이 농경지 토양질의 종합적인 이해가 작물 생산과 환경의 지속 가능성을 향상하는데 필수적이라 하였다. 본 연구에서는 도시 텃밭 토양의 건전성을 평가하고, 지속 가능한 도시농업 토양관리 시스템의 기초 자료 마련을 위하여 도시농업 토양의 화학적 특성을 조사하고, 이 결과를 토양 질 평가 시스템에 적용하였다. 이를 위하여 서울 및 수도권 도시텃밭 토양을 대상으로 주요 화학적 지표 선별하고 이를 정량적으로 평가하였으며, 정량화된 수치를 통해 도시 농업인들이 보다 쉽고 간편하게 토양 건전성을 확인할 수 있도록 하여 도시농업의 지속 가능성을 높이고자 하였다.

Materials and Methods

시료채취 본 연구에서는 서울 및 수도권 지역 도시 텃밭 62개소에서 표토 (0–20cm) 130점을 채취하여 사용하였다. 62개소의 도시 텃밭에서 도시 텃밭의 면적에 따라 1~3점의 시료를 채취하였다. 토양 시료는 풍건 후 2 mm 체로 체거름 하여 토양의 화학적 특성 분석에 사용하였다.

화학적 토양 특성 분석 토양 pH, 전기전도도 (electric conductivity; EC), 유기물 함량, 유효인산, 교환성 양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), 양이온교환용량 (cation exchangeable capacity; CEC), 전질소 (Total-N)를 분석하였다. 토양 pH와 EC는 전처리한 토양 5 g에 증류수 25 mL를 넣은 후 1시간 동안 진탕하여 pH meter (S220, Mettler Toledo, Switzerland)와 EC meter (S320, Mettler Toledo Switzerland)로 측정하였다. 유기물함량은 Walkley-Black법 (Nelson and Sommers, 1996)을 이용하여 분석하였다. 유효인산 함량은 Bray No. 1법 (Bray and Kurtz, 1945)를 이용하여 분석하였다. 교환성

양이온과 CEC 분석은 1N 초산 암모니아법 (Sumner and Miller, 1996)을 이용하였다.

토양 질 평가 도시 텃밭 토양의 토양 질 평가를 위해서는 해당 시료의 화학적 특성 분석값을 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용한 주성분 분석 (principal component analysis; PCA)에 적용하고, 이 결과를 통해 도시 텃밭 토양 환경에 있어 주요한 변수인 최소단위군 (minimum data set)을 선정하였다. 이 과정의 결과로 주요 화학적 토양 지표가 선별되며, 선별된 지표들의 화학적 특성 분석 수치를 표준 등급화 함수를 이용하여 0에서 1까지 점수화 하였다. 이 점수는 각각 개별 화학적 토양 지표의 점수가 되며, 이 점수에 지표별 가중치를 곱하고 합산하여 도시 텃밭 토양의 토양 질 지수를 산출하였다. 이렇게 산출한 토양 질 지수를 이용하여 도시 텃밭 토양 화학적 특성의 건전성을 평가하였다.

Results and Discussion

화학적 토양 특성 본 연구 대상지의 평균 토양 pH (6.9)는 우리나라 밭 토양의 pH (6.1) (Ha et al., 2010)에 비해 높았고, 교환성 Ca^{2+} 의 평균값 ($10.94 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) 또한 우리나라 밭 토양 기준 ($5.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Ha et al., 2010)보다 높았다. 이 결과는 Kim et al. (2011)의 연구결과와 같은 결과로 이는 석회를 지속해서 시용한 결과인 것으로 판단된다. 조사 지역의 평균 유기물 함량은 3.5%로 우리나라 밭 토양 평균 유기물함량 기준 (Ha et al., 2010)인 2.3%보다 높았는데 이는 유기질 비료 및 가축분뇨 퇴비의 투입으로 인한 것으로 판단된다 (Table 1). 유효인산의 평균 함량은 526.6 mg kg^{-1} 으로 우리나라 밭 토양 평균 유효인산 함량인 628.0 mg kg^{-1} (Ha et al., 2010)보다는 낮았지만, 일부 도시 텃밭 토양에서는 $1,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 이상의 값을 보였다 (Table 1). 상추는 62개 도시 텃밭의 공통 재배 작물이었다. 조사된 지역의 토양 중 CEC는 상추재배 적합지의 CEC ($10\text{--}15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)와 비슷한 수준이었지만 도시 텃밭 간에 큰 차이를 보였다 (Table 1).

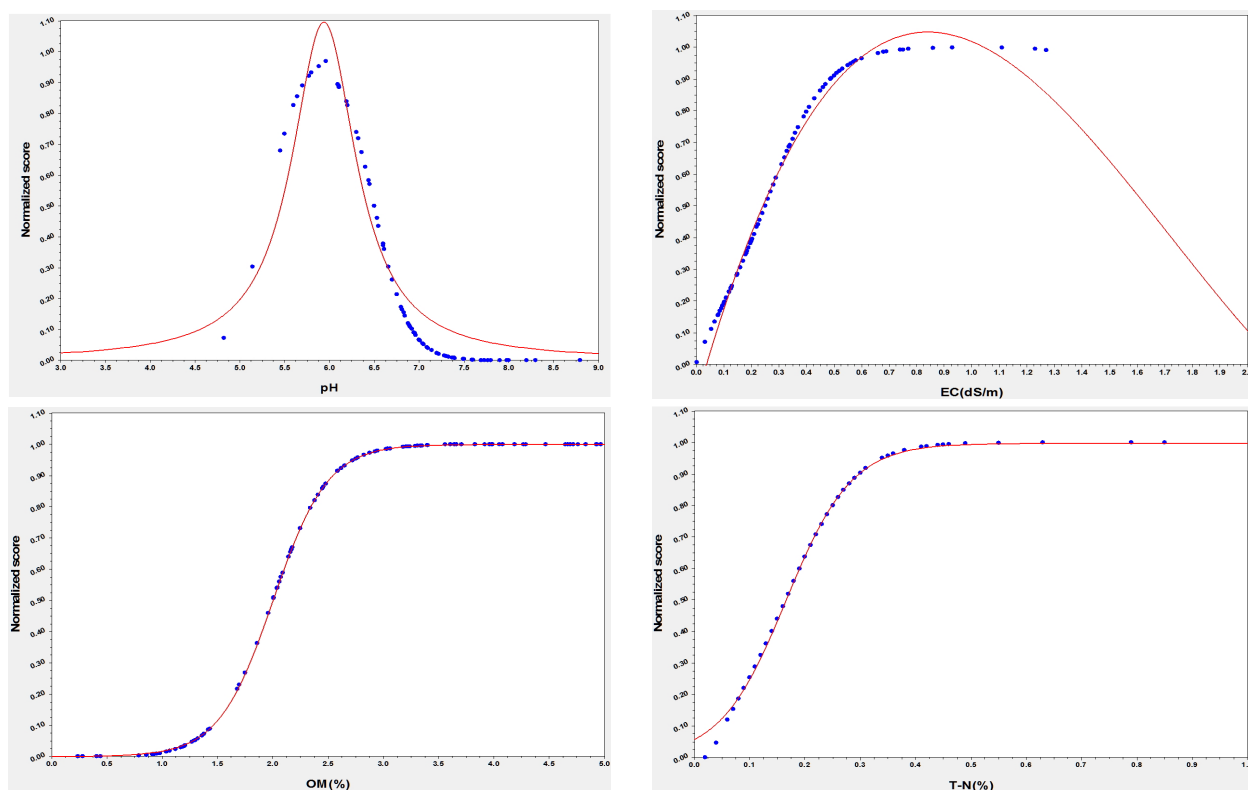
최소단위군 선정 도시 텃밭의 화학적 토양질 평가를 위한 최소단위군, 선정을 위해 도시 텃밭의 화학적 분석 항목인 pH, EC, 유기물, 유효인산, CEC, 전질소, 교환성 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 항목 데이터를 주성분 분석에 이용하였다. 주성분 분석 결과, 고유값 (eigenvalue)이 1 이상인 주성분이 총 3개이며, 이들의 축적지수 (cumulative)는 72.3%였다. 주성분 1 (PC1)에서 고유벡터 값이 큰 항목은 유기물 함량, 전질소였고, 주성분 2 (PC2)에서 고유벡터 값이 큰 항목은 EC였다. 주성분 3 (PC3)에서 고유벡터 값이 큰 항목은 pH였다. 이 결과를 바탕으로 도시 텃밭 토양 질 평가를 위한 지표로 전질소, 유기물, EC, pH를 포함한 4개 인자들을 선정하였다 (Table 2).

Table 1. Chemical properties of the soils used for urban agriculture in this study.

	pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	T-N	CEC	Exch. cation			
							K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	%		cmol _c kg ⁻¹			
Max.	8.8	1.27	15.65	2263.8	0.85	25.25	6.54	32.83	20.82	1.96
Min.	4.8	0.00	0.24	29.6	0.02	5.04	0.11	2.95	0.76	0.04
Ave.	6.9	0.33	3.47	526.6	0.22	12.90	1.20	10.94	2.52	0.29

Table 2. Results of principal component analysis (PCA) of soil quality indicators derived from the soils used for urban agriculture in Seoul and its vicinity.

Eigenvector	Principal component, PC		
	PC1	PC2	PC3
pH	-0.232	0.110	0.801
EC	-0.005	0.843	0.008
Organic matter, OM	0.915	0.174	-0.044
Available P ₂ O ₅	0.576	0.369	-0.448
Total nitrogen, TN	0.921	0.205	-0.039
Cation exchangeable capacity, CEC	0.898	0.008	-0.014
Exchangeable K ⁺	0.479	0.721	0.065
Exchangeable Ca ²⁺	0.369	0.209	0.748
Exchangeable Mg ²⁺	0.566	0.140	0.103
Exchangeable Na ⁺	0.204	0.751	0.346
Eigenvalue	3.604	2.080	1.540
Percent (%)	36.04	20.80	15.40
Cumulative percent (%)	36.04	56.84	72.25

**Fig. 1. Distribution of soil quality assessment scores for 130 soils used for urban agriculture according to each main indicator.**

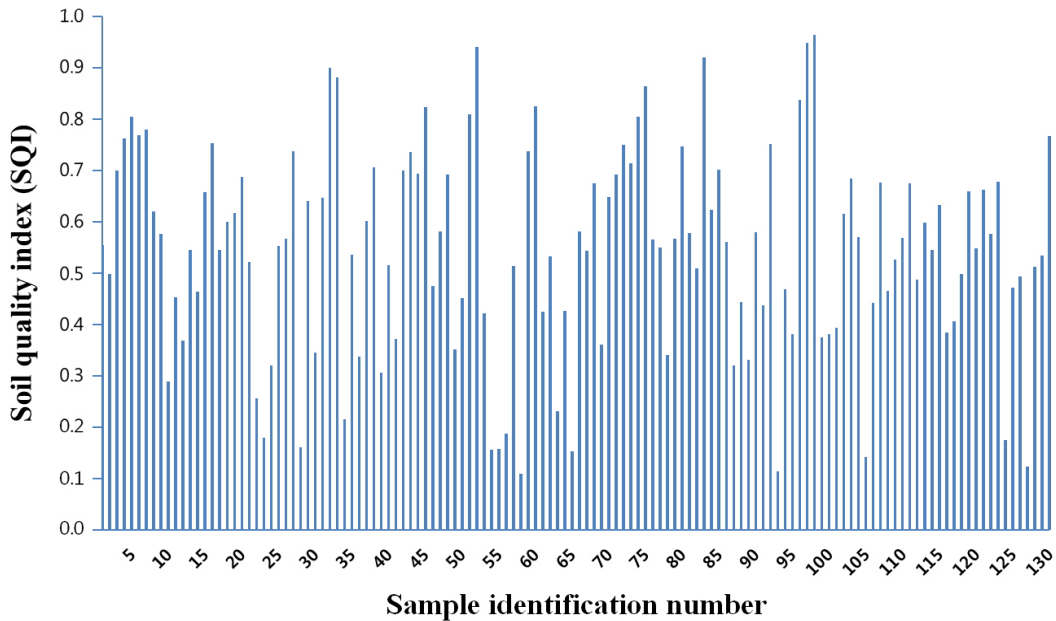


Fig. 2. Soil quality index of 130 soils used for urban agriculture.

도시 텃밭 토양 질 평가 연구대상 도시농업지 토양 특성 중 선정된 4개 토양특성 수치를 정규분포화 된 값으로 변환하기 위해 표준등급화 함수를 이용하여 4개 토양특성 수치를 점수화 하였다. 4개 토양특성 중 pH, EC는 최적범위가 있는 변수 (optimum), 유기물, 전질소는 높을수록 좋은 변수 (more is better)이다 (Andrews et al., 2002; Smith and Doran, 1996; Tiessen et al., 1994). 각 토양특성의 점수를 표준등급화 함수의 매개변수를 달리하여 산정하였다. 최소 0부터 최대 1까지의 점수로 변환된 130개 토양의 전질소, 유기물, EC, pH 지표별 점수 분포도 중 화학성 지표 점수가 0.5점 이하인 토양의 비율은 pH항목은 75%, EC항목은 49%, 유기물 항목은 26%, 전질소 항목은 38%였다 (Fig. 1). 130개 도시 텃밭 토양의 각 지표별 평균 점수가 pH 0.26, EC 0.56, 유기물 0.71, 전질소 0.60인 것으로 볼 때 서울 및 수도권 지역 도시 텃밭에서 관리가 가장 시급한 항목은 pH임을 알 수 있었다.

도시 텃밭 토양 질 지수 산정 개별로 조사한 도시텃밭 주요 화학적 지표 점수를 지표별 가중치를 반영한 토양 질 지수 산정식에 대입하여 토양 질 지수 (soil quality index, SQI)를 계산하였다 (Fig. 2). 토양 질 지수는 최소 0부터 최대 1까지 산출된다. 최소단위군 선정에 이용했던 주성분 분석 결과로부터 도출한 pH, EC, 유기물, 전질소의 가중치는 각각 0.154, 0.208, 0.180, 0.180이었다. 이 가중치를 반영한 토양 질 지수 계산식은 다음과 같다.

Normalized SQI=

$$\frac{0.180 \times TN + 0.180 \times OM + 0.208 \times EC + 0.154 \times pH}{0.722}$$

앞의 식을 이용하여 구한 130개 도시 텃밭 토양의 토양 질 지수는 평균 0.543, 최소 0.109, 최대 0.964였다.

Conclusions

서울 및 수도권지역 도시텃밭 62개소에서 채취한 토양 130 점을 대상으로 토양질 평가를 실시한 결과 토양 pH가 가장 관리가 시급한 지표임을 확인할 수 있었고, 종합적인 토양질 평가에서 상당수 도시텃밭의 토양 건전성이 미흡한 것으로 나타났다. 이렇게 점수화된 도시텃밭의 토양 화학적 지표를 기반으로 토양환경 관리방안을 모색한다면 체계적이고 정량화된 도시텃밭 관리 체계를 구축할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이를 통해 지속 가능한 도시텃밭 토양환경을 유지하고, 도시농업인에게 이해하기 쉬운 토양 정보를 제공할 수 있을 것으로 본다.

References

- Andrews, S.S., D.L. Karlen, and J.P. Mitchell. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agr. Ecosyst. Environ.* 90:25-45.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59(1): 39-46.
- Ha, S.K., M.S. Kim, J.S. Ryu, G.L. Jo, S.C. Choi, Y.S. Kim, M.T. Choi, B.K. Ahn, H.W. Kim, C.Y. Kim, Y.H. Lee, and S.H. Yang. 2010. Monitoring of chemical properties for the upland soils in Korea. p. 357. *In Abstracts*, Korean Soc. Soil Sci. Fert., Suwon, KR.
- Hwang, J.I., Y.J. Yoon, B.G. Rhee, and S.Y. Lee. 2010.

- Segmentation and characteristic analysis of urban farmers behavior. *Korean J. Community Living Sci.* 21(4):619-631.
- Kang, K.N., J.K. Lee, K.H. Kim, and M.H. Lee. 2007. Revitalization planning of urban farming based on vegetable gardens. *J. Inst. Const. Technol.* 26:167-176.
- Kim, H.S., Y.N. Kim, J.W. Kim, and K.H. Kim. 2011. Properties and heavy metal contents of urban agricultural soils in Seoul. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1048-1051.
- Na, Y.E. 2010. Driving projects of urban agriculture for the energy independence. *Korean J. Environ. Agr.* 29(3):304-308.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Park, T.H. and I.S. Lee. 2012. Effects of the urban farm program on the participants' sense of community. *J. Korean Inst. Landscape Archit.* 40(5):119-128.
- Qi, Y., J.L. Darilek, B. Huang, Y. Zhao, W. Sun, and Z. Gu. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149:325-334.
- Rahmanipour, F., R. Marzaioli, H.A. Bahrani, Z. Fereidouni, and S.R. Bandarabadi. 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecol. Indic.* 40:19-26.
- Smith, J.L. and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. p. 169-185. *In* J.W. Doran, A.J. Jones (ed.). *Methods for assessing soil quality.* SSSA Special Publication No. 49, SSSA, Madison, WI.
- Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. p. 1201-1230. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical method.* ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Tiessen, H., E. Cuevas and P. Chacon. 1994. The role of organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371:783-785.