

El equivalente de CaCO_3 como criterio para realizar mezclas de materiales para la enmienda de acidez en Ultisoles. Estudio en columnas simuladas de suelo

CaCO_3 equivalent as a criterion for mixing materials for the amendment of acidity in Ultisols. Study in simulated soil column

J. Bárcenas¹, G. Gascó-Guerrero², R. López³, J. Hernández¹,
M. Larreal¹ y B. Bracho⁴

¹Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. ²Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. ³CIDIAT- Universidad de los Andes. ⁴Departamento de Estadística. Facultad de Agronomía. Ciudad Universitaria. Núcleo Agropecuario. Av. Goajira. Maracaibo. Estado Zulia. Apartado postal 15205 ZU 4005.

Resumen

Cuando los suelos minerales poseen pH medido en agua por debajo de 5,5, el Al se solubiliza causando el deterioro de las raíces. Aplicar mezclas de materiales calcáreos con materiales orgánicos, puede elevar el pH del suelo, reduciendo las demandas de cal. Se requiere determinar el poder neutralizante de los distintos materiales para elaborar mezclas de éstos, cuya aplicación permita alcanzar el pH deseado en el suelo. En el presente trabajo se evaluó el uso del equivalente de CaCO_3 como criterio para realizar mezclas de materiales que enmienden la acidez en Ultisoles. Se simularon en dos Ultisoles en columnas, aplicándoles superficialmente: cal dolomítica (CD) y vermicompost de estiércol bovino (VEB) de manera individual y mezclados. La aplicación individual y de las mezclas elevó con igual magnitud el pH de la sección superficial de los suelos. La metodología evaluada es efectiva como criterio para realizar mezcla de materiales antes descrita.

Palabras clave: Equivalente de CaCO_3 , Cal dolomítica, vermicompost, Ultisoles.

Abstract

When the mineral soils have pH measured in water under 5.5, the Al solubilizes causing deterioration of the roots. Applying mixes of calcareous materials with organic materials might elevate the pH of the soil, reducing the demands of the cal. It is required to determine the neutralizing power of the different materials to elaborate mixtures with it, which application allows reaching the desired pH in the soil. In the current research the use of the equivalent of CaCO_3 was evaluated as criterion for mixing the materials that amend the acidity in Ultisols. Were simulated in Ultisols in columns, applying superficially: dolomitic lime (DL) and vermicompost of bovine cattle (VBC) individually and mixed. The individual application and the mixtures elevated the pH of the superficial section of the soils. The methodology evaluated is effective as criteria for mixing the materials already described.

Key words: equivalent of CaCO_3 , dolomitic lime, vermicompost, Ultisols.

Introducción

La toxicidad del Al se considera el mayor factor que restringe el crecimiento de las plantas en los suelos ácidos (FAO, 2000). Cuando los suelos tienen un pH medido en agua por debajo de 5,5, el Al se solubiliza y causa un severo deterioro de las raíces (Yamamoto *et al.*, 2003), dando como resultado la reducción de la absorción de agua y desorden nutricional en la planta principalmente con Ca, Mg, P y Fe. Por consiguiente, una de las primeras manifestaciones del daño en las raíces es el estrés hídrico. Muchos de los suelos ácidos tendrían un alto rendimiento si las raíces pudieran penetrar para extraer agua y nutrientes de los horizontes sub superficiales ácidos, que normalmente están fuera de su alcance (Sumner y Noble, 2003). Los suelos con restricciones de uso por presencia de Al^{3+} intercambiable, a nivel mundial, abarcan alrededor de 19,8 M km², ocupando en América Central y América del Sur 8 M km² y en Venezuela

Introduction

Al toxicity is considered the biggest factor that restricts the growth of plants in acid soils (FAO, 2000). When the soils have a pH measured in water under 5.5, the Al solubilizes and causes severe deterioration of the roots (Yamamoto *et al.*, 2003), causing the reduction of the water absorption, nutritional disorder in the plant, mainly with Ca, Mg, P and Fe.

Consequently, one of the first signs of the damage in the roots is the water stress. Many of the acid soils might have a high yield if roots penetrate to extract water and nutrients from the acid sub-superficial horizons, which are normally out of their reach (Sumner and Noble, 2003). The soils with use restriction by the presence of interchangeable Al^{3+} worldwide cover approximately 19.8 M km², occupying Central America and South America 8 M km² and in Venezuela 0.514 M km², equal to 55% of its territory. Regarding the affected

0,514 M km², lo que equivale al 55% de su territorio. En lo que respecta a superficie afectada a nivel mundial, se ubican detrás de los suelos con problemas de erosión (FAO, 2000).

El encalado es una técnica factible, pero dados los altos niveles de cal requeridos puede no resultar económico, particularmente por los altos costos de transporte en los países que carecen de los suministros locales de cal (FAO, 2000). Los residuos orgánicos disminuyen los efectos negativos propios de los suelos ácidos y que podrían ser mezclados con cal para minimizar los requerimientos de este último (The *et al.*, 2006). Para realizar estas mezclas y lograr el efecto deseado se requiere determinar tanto el poder neutralizante de los distintos materiales como la capacidad amortiguadora del suelo, ambos aspectos permiten calcular la cantidad a mezclar de cada uno.

En el presente trabajo se evaluó el uso del equivalente de CaCO₃ como criterio para realizar mezclas de cal dolomítica (CD) y vermicompost de estiércol bovino (VEB) y se comparó el efecto neutralizante de éstas con el de los materiales aplicados de manera individual. Además se evaluó la capacidad amortiguadora de los suelos.

Materiales y métodos

El presente estudio fue realizado en 2009 y comprende un ensayo de laboratorio donde a columnas simuladas de dos Ultisoles se les aplicó en los primero 0,05 m en cantidad equivalente al CaCO₃ puro, necesario para alcanzar un pH de 5,5 en los 0,40 m del perfil. Se utilizó cal dolomítica y

surface Worldwide, these locate after the soils with erosion problems (FAO, 2000).

Liming is a feasible technique, but due to the high levels of lime required, it might not turn out cheap, particularly due to the high transportation costs in the countries that lack of local supply of lime (FAO, 2000). The organic residues reduce the own negative effects of the acid soils, and may be mixed with lime to minimize the requirements of the latter (The *et al.*, 2006). To perform these mixtures and obtain the desirable effect, it is required to determine both the neutralizer power of the different materials as well as the buffer capacity of the soil; both aspects allow calculating the quantity to be mixed of each element.

The use of the equivalent of CaCO₃ was evaluated as a criterion to mix dolomite lime (DL) and vermicompost of bovine cattle (VBC), and the neutralizing effect was compared to the materials applied individually. Also, the buffer capacity of the soil was evaluated.

Materials and methods

This research was carried out in 2009 and comprises a laboratory essay where at simulated columns of two Ultisols, was applied in the first 0.05 m in a quantity equal to pure CaCO₃, necessary to reach of pH of 5.5 in 0.40 m of the profile. Dolomitic lime and vermicompost of bovine cattle were used individually and mixed in different proportions but with the same equivalence, with the dose of CaCO₃.

vermicompost de estiércol bovino de manera individual y mezclada en diferentes proporciones, pero con la misma equivalencia para todas, de la dosis de CaCO_3 .

Ubicación y características de los sitios de muestreo: Fueron seleccionados dos sitios de muestreo en la costa oeste de la cuenca del Lago de Maracaibo, estado Zulia - Venezuela, de acuerdo a su ubicación dentro de una climosecuencia, siendo éstos: Hacienda La Esperanza en el sector Villa del Rosario (zona Ustic), cuya precipitación promedio anual es de 1.051 mm (18785882E 1126071N coordenadas UTM) y Campo experimental Tres de Oro en el sector El Cruce (zona Udic) con una precipitación promedio anual de 2.908 mm (18757560E 1014939N coordenadas UTM). Suelos correspondientes a materiales de la formación "La Villa". Cada localidad de la climosecuencia está representada por el suelo que circunda a una calicata; escogiéndose para muestrear 3 puntos adyacentes a la misma. Ambas zonas fueron muestreadas a un espesor de (0-0,40 m). El suelo de la zona Ustic está clasificado según Soil Taxonomy como Typic Paleustults, familia francosa gruesa, y el suelo de la zona Udic como Typic Paleudults, familia francosa fina. En el cuadro 1 se aprecian algunas características químicas y físicas de los suelos ubicados en las zonas Ustic y Udic.

Enmiendas utilizadas: En este ensayo se utilizó una enmienda de origen inorgánico como la cal dolomítica y la otra de origen orgánico, vermicompost de estiércol bovino. La cal dolomita (CD), producto comercial MINYA, la cual contiene 60,52%

Location and characteristics of the sampled areas: two sampling areas were selected from the west coast of the basin of Maracaibo's Lake, Zulia state, Venezuela, according to its location in a sequence of weather, being these: La Esperanza farm at Villa del Rosario (Ustic area), which annual average precipitation is of 1.051 mm (18785882E 1126071N UTM coordinates) and Experimental field Tres de Oro at El Cruce (Udic area) with an annual average precipitation of 2.908 mm (18757560E 1014939N UTM coordinates).

Soils corresponding to materials of "La Villa" formation. Each location of the weather-sequence is represented by the soil around the pits, choosing for the sample 3 points adjacent to it. Both areas were sampled at a thick of (0-0.40 m). The soil of the Ustic area is classified according to the Soil Taxonomy as Typic Paleustults, thick loamy, and the soil of the area as Typic Paleudults, fine loamy family. In table 1 are evidenced some chemical and physical characteristics of the soils in the Ustic and Udic areas.

Amendment used: In this essay and inorganic amendment such as the dolomitic lime was used, and an organic amendment such as vermicompost of bovine cattle. Dolomite lime (DL), commercial product MINYA, with 60.52% of CaCO_3 and 37.62% of MgCO_3 and equivalent of CaCO_3 of 100.88%. The vermicompost of bovine cattle (VBC), sub-product of the livestock activity, using the specie *Eisenia fetida*, was processed at Ana María Campos, property of the Agronomy Faculty of Universidad del Zulia, with an

Cuadro 1. Algunas características químicas y físicas de los suelos de las zona Ustic y Udic.
Table 1. Some chemical and physical characteristics of the soils of Ustic and Udic areas.

Profundidad cm	Da g.cm ⁻³ parafina	Suelo zona Ustic							Clasf. textural
		Al ⁺ Interc cmol _c .kg ⁻¹ KCl	Acidezinterc cmol _c .kg ⁻¹ KCl	CIC cmol _c .kg ⁻¹ NH ₄ OAc	Acidez total cmol _c .kg ⁻¹ T.E.A-B _a Cl _z	Arena %	Limo %	Arcilla %	
0-22	1,44	0,60	0,66	2,50	2,37	81,73	12,12	6,15	aF
22-40	1,49	0,80	1,10	2,00	3,24	79,33	12,18	8,49	a F
						Suelo zona Udic			
0-10	1,45	2,0	2,34	6,0	8,33	54,43	26,53	19,04	Fa
10-20	1,45	2,15	2,64	6,0	6,62	51,69	25,76	22,55	FAa
20-40	1,61	2,4	2,64	6,0	5,64	49,31	24,62	26,07	FAa

Al⁺Interc = Aluminio Intercambiable; Acidez Inter = Acidez intercambiable;
 CIC. = Capacidad de intercambio catiónico, Da = Densidad aparente

de CaCO_3 y 37,62% de MgCO_3 y un equivalente de CaCO_3 de 100,88%. El vermicompost de estiércol bovino (VEB), sub producto de la actividad pecuaria utilizando la especie *Eisenia fetida*, fue procesado en la granja Ana María Campos propiedad de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, posee un equivalente de CaCO_3 de 19,34% y relación C/N de 10,72.

Determinación de la capacidad amortiguadora: se elaboraron las curvas de amortiguación de cada horizonte utilizando mezclas de suelo con una solución de Ca(OH)_2 de normalidad conocida en diferentes proporciones para medir luego los cambios en el pH según metodología reportada por López (1982).

Determinación de la dosis por tratamiento: Para determinar las dosis a aplicar, se utilizaron las curvas de amortiguación y se calculó la cantidad de CaCO_3 , necesaria para promover cambio en el pH hasta 5,5 en cada horizonte, para cada suelo se sumaron los requerimientos desde el horizonte superficial hasta 0,40 m de espesor (0-0,40 m). También se le determinó a la CD y al VEB el equivalente de CaCO_3 o valor de neutralización para materiales encalantes, por el Método Potenciométrico (A.O.A.C., 1995). La cantidad de enmienda a aplicar se obtuvo al relacionar la cantidad de CaCO_3 necesaria con su valor de neutralización y haciendo el ajuste de acuerdo al contenido de humedad del material. En el cuadro 2 se detalla la cantidad de enmienda aplicada por tratamiento expresada en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Empacado de las columnas y lámina aplicada: Las columnas de

equivalente de CaCO_3 of 19.34% and a C/N relation of 10.72.

Determination of the buffer capacity: the buffer curves of each horizon were elaborated using soil mixes with a Ca(OH)_2 solution known in different proportions to measure the changes in the pH, according to the methodology reported by López (1982).

Doses determination per treatment: to determine the doses to apply, buffer curves were used and the quantity of CaCO_3 was calculated, necessary to promote a change in the pH of even 5.5 on each horizon; for each soil the requirements from the superficial horizon until 0.40 m of thickness (-0.40 m) were summed up. Additionally, the equivalent of CaCO_3 or neutralization value of liming materials was determined to the DL and the VBC by the Potentiometer method (A.O.A.C, 1995). The amendment quantity to apply was obtained when relating the quantity of CaCO_3 necessary to its neutralization value, and adjusting according to the humidity content of the material. In table 2, the amendment quantity applied by the treatment expressed in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ is detailed.

Packaging of columns and lamina applied: the soil columns were armed by triplicate simulating each horizon in a way that it packed with same apparent density in the laboratory by the waxing method. The columns were kept at environment temperature (29° C average, 25° - 40° C minimum-maximum) and under shadow.

The average infiltration of October, November and December of

Cuadro 2. Cantidad de enmienda aplicada por tratamiento expresada en kg.ha⁻¹.**Table 2. Quantity of the amendment applied per treatment expressed in kg.ha⁻¹.**

Nº	Zona	Tratamientos		Cantidad de enmienda kg.ha ⁻¹	
		CD %	VEB %	CD	VEB
1	Ustic	0	0	0	0
2	Ustic	100	0	4.086,00	0
3	Ustic	0	100	0	21.266,00
4	Ustic	95	5	3.870,00	1.051,00
5	Ustic	90	10	3.679,00	2.126,00
6	Ustic	85	15	3.464,00	3.178,00
7	Ustic	80	20	3.249,00	4.253,00
8	Udic	0	0	0	0
9	Udic	100	0	9.677,00	0
10	Udic	0	100	0	50.442,00
11	Udic	95	5	9.175,00	2.532,00
12	Udic	90	10	8.697,00	5.041,00
13	Udic	85	15	8.219,00	7.574,00
14	Udic	80	20	7.741,00	10.083,00

CD = Caliza dolomítica, VEB = Vermicompost de estiércol bovino

suelo fueron armadas por triplicado simulando cada horizonte de manera tal, que quedara empacado con igual densidad aparente a la medida en el laboratorio por el método de la parafina. Las columnas fueron mantenidas a temperatura ambiente (29°C promedio, 25°-40°C mínima-máxima) y bajo sombra. Se simuló la infiltración promedio de los meses de octubre, noviembre y diciembre de cada zona garantizando que la lámina aplicada fuera inferior a la lámina de infiltración, para evitar la acumulación de agua sobre el horizonte superficial de las columnas. A las columnas se les

each zone was simulated, guaranteeing that the lamina applied were inferior to the infiltration lamina, in a way to guarantee the water accumulation on the superficial horizon of columns. Water lamina was applied to the columns, equal to the effective average infiltration on each zone during the second rainy season of the year, 90.54 L.m⁻² in the Ustic area and 306.29 L.m⁻² in the Udic area.

pH determination and statistical analysis: once applied the treatments, the columns were sectioned every 0.10 m until completing 0.40 m of soil columns,

aplicó lámina de agua que equivalió a la infiltración efectiva promedio en cada zona durante el segundo período lluvioso del año, 90,54 L.m⁻² en la zona Ustic y 306,29 L.m⁻² en la zona Udic.

Determinación de pH y Análisis estadístico: Una vez aplicados los tratamientos, las columnas fueron seccionadas cada 0,10 m hasta completar los 0,40 m de columna de suelo, secadas y tamizadas con tamiz de dos mm de luz para luego proceder a la determinación del pH del suelo (suelo:agua 1:2,5 m/v) en cada sección. Las determinaciones se realizaron por muestra simple obteniéndose un valor para cada repetición por el método potenciométrico. A fin de evaluar las variables descritas en dos suelos y a cuatro profundidades se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Para aquellos tratamientos que resultaron significativamente diferentes ($P < 0.01$) se hicieron comparaciones múltiples de medias utilizando el procedimiento de Tukey. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico S.A.S[®] Versión 9.1 (SAS Institute, Inc., 2009).

Resultados y discusión

Análisis de la capacidad de amortiguación y de las características químicas y físicas de los suelos estudiados: Al analizar las curvas de amortiguación de los horizontes superficiales de ambos suelos, las cuales se aprecian en las figuras 1 y 2, se observan ámbitos donde incrementos de Ca(OH)₂ promueven ligeros cambios en el pH, y en otros donde iguales incrementos inducen cambios mayores en el mismo. El comportamiento descrito se

dried and sift with a 2-mm sieve of light to determine the soil pH (soil:water 1:2.5 m/v) on each section. The determinations were done by simple sample, obtaining a value for each replication by the potentiometer method.

With the aim of evaluating the variables described in two soils and at 4 depths, a randomized design was used with three replications. For those treatments that resulted significantly different ($P < 0.01$) multiple mean comparisons were done using Tukey test. The data was analyzed using the statistical software S.A.S[®] 9.1 (SAS Institute, Inc., 2009).

Results and discussion

Analysis of the buffer capacity and the chemical and physical characteristics of the studied soils: when analyzing the buffer curves of the superficial horizons of both soils, which can be seen in figures 1 and 2, are observed areas when increments of Ca(OH)₂ promote slight changes in the pH, and in other where equal increments induce higher changes on it. The behavior described was seen until 0.40 m of both soils studied. This is due to in these soils at low pH, the hydro-xyaluminium monomer absorbed in the surface of the clays block the interchange areas reducing the CEC of the clay, when elevating the pH adding Ca(OH)₂, the positive charges of the polymer are reduced leaving free the negative charges of the interchange areas, increasing the CEC. The necessary lime quantity increases to elevate the pH of the soil (Brady and Weil, 2008)

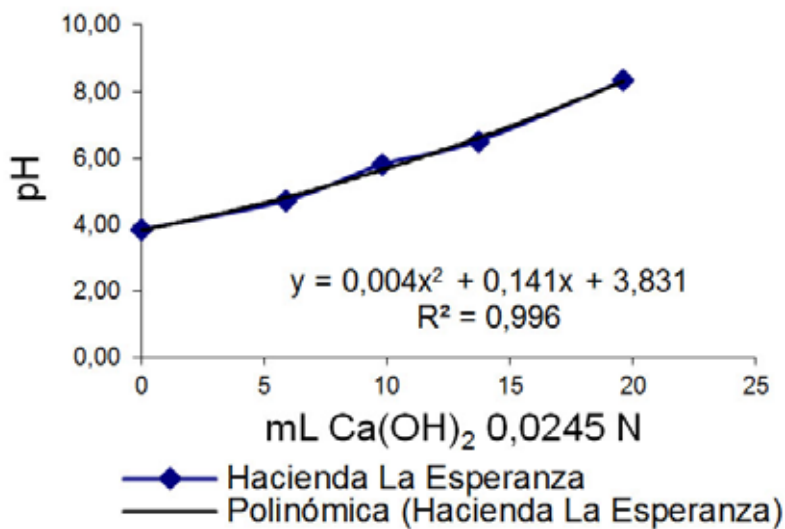


Figura 1. Curva de amortiguación del horizonte Ap suelo zona Ustic.

Figure 1. Buffering curve of Ap soil horizon Ustic area.

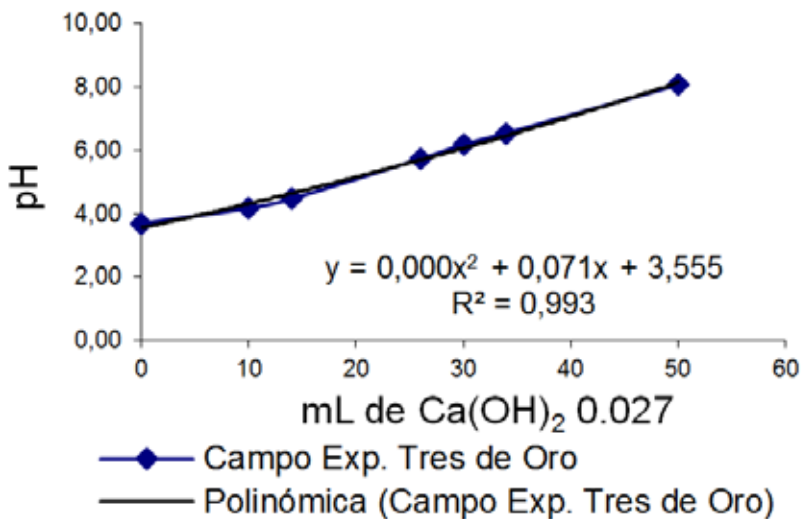


Figura 2. Curva de amortiguación del horizonte Ap1 del suelo zona Udic.

Figure 2. Buffering curve of the Ap1 soil horizon of the Udic area.

manifestó hasta los 0,40 m de ambos suelos estudiados. Esto es debido a que en estos suelos a pH bajos, los monómeros hidroxialumínicos que están adsorbidos en la superficie de las arcillas, bloquean los sitios de intercambio disminuyendo la CIC de la arcilla, al elevar el pH con la adición del $\text{Ca}(\text{OH})_2$, las cargas positivas del polímero se reducen quedando libres cargas negativas de los sitios de intercambio, incrementándose la CIC. Al poderse adsorber más Ca, Mg y otros cationes básicos, aumenta la cantidad de cal necesaria para elevar el pH del suelo (Brady y Weil, 2008). En ambos suelos estudiados, la hidrólisis del Al y la precipitación de sus compuestos se consideran los principales responsables de la resistencia a la modificación del pH por la adición de las fuentes de OH^- .

Desde el punto de vista químico la acidez intercambiable y total de los horizontes del perfil de la zona Udic es mayor que la determinada en los horizontes de la zona Ustic. Igual relación se da al comparar las capacidades de intercambio catiónico y, desde el punto de vista físico, el porcentaje de arcilla es mayor en los horizontes de la zona Udic. Cada horizonte estudiado del perfil de la zona Udic posee mayores fuentes de acidez y cargas dependientes del pH que resisten a cambios del mismo por la adición de OH^- , que las presentes en los horizontes del perfil de la zona Ustic. Lo antes expuesto explica porque se requirió aplicar 130% más cantidad de cada enmienda en el suelo simulado de la zona Udic, en comparación con la cantidad aplicada en el suelo simulado de la zona Ustic (cuadro 2).

when absorbing more Ca, Mg and other basic cations. In both studied soils, the hydrolysis of Al and the precipitation of its compounds are considered the main responsible of the resistance to the modification of pH by adding OH^- .

From the chemical point of view, the interchangeable and total acidity of the profile horizons of the Udic area is higher than the determined in the horizons of the Ustic area. There is the same relation when comparing the capacities of cation interchange, and from the physical point of view, the clay percentage is higher in horizons of Udic area. Each horizon studied of the profile of Udic area has higher acidity sources and charges dependent to the pH, that resist to changes by the addition of OH^- , than the ones presents in the horizons of the profile in the Ustic area. The latter explains the requirement of applying 130% more quantity of each amendment in the simulated soil of the Udic area, compared to the quantity applied in the simulated soil of the Ustic area (table 2).

Evaluation of the equivalent method of CaCO_3 of the DL and the VBC as a criterion to perform the mixtures of the amendments: when concluding the detailed results in table 3, the following aspects highlight in the depth of 0-0.40 m in both soils:

The effect of the materials applied individually on the mineral-acid soils observed in this research, is widely reported as the involved mechanisms (Brady and Weil, 2008). On the other hand, even though the application neutralizing effect of organic wastes is a slow process, when calculating the

Evaluación del método del equivalente de CaCO_3 de la CD y el VEB como criterio para realizar las mezclas de las enmiendas.:

Al analizar los resultados detallados en el cuadro 3, destaca en la profundidad 0-0,40 m de ambos suelos, los siguientes aspectos:

El efecto de los materiales aplicados de manera individual sobre los suelos minerales ácidos observado en este estudio, está ampliamente reportado así como los mecanismos involucrados (Brady y Weil, 2008). Por otro lado, aunque el efecto neutralizante de la aplicación de restos orgánicos es un proceso lento, cuando se calculó el equivalente de CaCO_3 para determinar la dosis de VEB, el efecto neutralizante medido fue capaz de manifestarse y elevar el pH a valores similares a los de la aplicación de CD de manera individual en el mismo período. En ese sentido, la capacidad de consumir protones por vía de la asociación de iones H_3O^+ con los aniones orgánicos y la descarboxilación de aniones de ácidos orgánicos, se consideran la razón principal de la elevación del pH observada.

Al comparar los valores medios de pH obtenidos al aplicar las mezclas, se aprecia que en todas las profundidades no existen diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,01$), ni entre ellas ni comparadas con los valores medios del pH cuando se utilizaron las enmiendas CD y VEB de manera individual. Los valores de pH obtenidos en las secciones 0-0,10 m de ambos suelos 6,5 -6,7 no representan limitación para el crecimiento de los cultivos.

Este trabajo se constituye en referencia inicial en suelos de la zona.

equivalent of CaCO_3 to measure the VBC doses, the neutralizing effect was capable of showing and elevates the pH to similar values than the ones applied for DL individually in the same period. On this sense, the capacity of consuming protons by ion association H_3O^+ to the organic anions and the anion decarboxylation of organic acids, are considered the main reason to elevate the pH observed. Comparing the mean pH values obtained when applying the mixtures is seen that in all depths there are not any significant statistical differences ($P < 0.01$) or when compared to the mean pH values, when using the amendments DL and VBC individually. The pH values obtained in the sections 0-0.10 m of both soils 6.5-6.7; these do not represent any limitation for the growth of crops.

This research constitutes an initial reference in the soils of the area. Once ratified this methodology in the field, its use in acid soils can be recommended in soils with the characteristics of this research with availability of organic residues. The application of the evaluated method to use these vermicompost residues can be recommended, with the positive implication for the soil from the chemical, physical and biological point of view, and to reduce the lime requirements.

Conclusions

Both soils under research have different buffering capacity. The soil of the Udic area requires 130% more quantity of each amendment to reach the same pH compared to the soil of the Ustic area. This preliminary

Cuadro 3. Valores medios de pH (1:2,5 suelo:agua) por profundidad y por tratamiento de la zona Ustic.
Table 3. Mean pH values (1:2.5 soil:water) by depth and treatment of the Ustic area.

Profundidad cm	Testigo	Tratamientos zona Ustic						
		100D 0V	0D 100V	95D 5V pH (H ₂ O)	90D 10V	85D 15V	80D 20V	
0-10	5,1 ± 0,08 ^c	6,5 ± 0,02 ^b	6,7 ± 0,07 ^a	6,5 ± 0,05 ^{ab}	6,5 ± 0,09 ^{ab}	6,5 ± 0,13 ^{ab}	6,6 ± 0,02 ^{ab}	
10-20	5,3 ± 0,32 ^a	5,2 ± 0,22 ^a	5,3 ± 0,07 ^a	5,1 ± 0,08 ^a	5,1 ± 0,02 ^a	5,2 ± 0,05 ^a	5,1 ± 0,14 ^a	
20-30	5,1 ± 0,22 ^a	5,4 ± 0,40 ^a	5,3 ± 0,17 ^a	5,2 ± 0,03 ^a	5,3 ± 0,16 ^a	5,3 ± 0,12 ^a	5,2 ± 0,07 ^a	
30-40	5,0 ± 0,20 ^a	5,2 ± 0,32 ^a	5,3 ± 0,44 ^a	5,3 ± 0,09 ^a	5,5 ± 0,35 ^a	5,4 ± 0,15 ^a	5,5 ± 0,10 ^a	
Tratamientos zona Udic								
0-10	5,1 ± 0,18 ^b	6,7 ± 0,10 ^a	6,5 ± 0,08 ^a	6,5 ± 0,20 ^a	6,5 ± 0,08 ^a	6,5 ± 0,07 ^a	6,6 ± 0,07 ^a	
10-20	5,3 ± 0,10 ^a	5,2 ± 0,11 ^a	5,4 ± 0,23 ^a	4,9 ± 0,04 ^a	4,9 ± 0,32 ^a	4,9 ± 0,25 ^a	5,1 ± 0,29 ^a	
20-30	5,4 ± 0,11 ^a	5,3 ± 0,09 ^a	5,4 ± 0,29 ^a	5,1 ± 0,10 ^a	4,9 ± 0,33 ^a	4,9 ± 0,41 ^a	5,0 ± 0,30 ^a	
30-40	5,4 ± 0,12 ^a	5,3 ± 0,09 ^a	5,3 ± 0,30 ^a	5,2 ± 0,14 ^a	5,0 ± 0,32 ^a	4,9 ± 0,17 ^a	5,0 ± 0,30 ^a	

Los valores en las filas seguidos de letras diferentes representan diferencias altamente significativas (P<0,01).

Una vez ratificada esta metodología en condiciones de campo, se podrá recomendar su uso en suelos ácidos con las características de los suelos utilizados en este estudio y donde se cuente con disponibilidad de residuos orgánicos. Se podrá recomendar la aplicación del método evaluado para utilizar estos residuos vermicompostados, con la implicación positiva para el suelo que conlleva su uso desde el punto de vista químico, físico y biológico y además disminuir los requerimientos de cal.

Conclusiones

Los dos suelos objeto de estudio poseen diferentes capacidades de amortiguación. El suelo de la zona Udic, requiere 130% más cantidad de cada enmienda para alcanzar el mismo pH destino en comparación con el suelo de la zona Ustic. Este estudio preliminar demuestra que la determinación del equivalente de CaCO_3 al vermicompost de estiércol bovino (VEB) y a la cal dolomítica (CD) es efectiva como criterio para realizar mezclas de estos materiales para la enmienda de acidez en Ultisoles bajo condiciones controladas.

Literatura citada

- A.O.A.C. 1995. Agricultural Liming Materials. Official Methods of A.O.A.C. International P. Kane (Ed) 16th Edition. Volumen I. Capitulo 1. Pag 1-2. Gaithersburg.
- Brady, N. y R Weil. 2008. The Nature and Properties of Soils. 14 Ed. Pearson-Prentice Hal, Upper Saddler River. New Jersey.
- FAO. 2000. Land Resource Potencial and Constraints at Regional and Country

research shows that the determination of the equivalent CaCO_3 to the vermicompost of the bovine cattle (VBC) and the dolomitic lime (DL) is effective as a criterion to mix these materials for the acidity amendment in Ultisols under controlled conditions.

End of english version

- Level. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Land and Water Development Division. World Soil Resources Report 90 A.J. Bot; F.O. Nachtergaele; A. Young.
- López, I. 1982. Requerimientos de Cal en Suelos de Venezuela. III. Interpretación de Análisis por el Método de Titulación con $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Agronomía Tropical. 33(1-6): 443-458
- SAS Institute, Inc. 2009. SAS User's guide: Statistics. 9.1.3 Versión. SAS Inst., Inc. Cary, New York, USA.
- Sumner, M. y A. Noble. 2003. Soil Acidification: The World History. En: Hand Book of Soil Acidity. Zdenko Rengel (Ed.), CRC Press. 512 p.
- The, C., H. Calba, C. Zonkeng, E. Ngonkeu, V. Adetimirin, H. Mafouasson, S. Meka y W. Horst, 2006. Response of maize grain yield to changes in acid soil characteristics aftes soil amendments. Plant and Soil, 284: 45-57.
- Yamamoto, Y., Y. Kobayashi, S. Rama Devi, S. Rikiishi y H. Matsumoto. 2003. Oxidative stress triggered by aluminium in plant roots. Plant and Soil. 255: 239-243.