

Biorrecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. I. Evolución de CO₂

Bioremediation of saline with the use of organic materials. I. Evolution of CO₂

J.A. Hernández Araujo¹, G. Gascó Guerrero², J. Paolini³, V. Polo⁴,
J. Bárcenas⁵ y L. Mármol⁵

¹Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia (LUZ). ²Universidad Politécnica de Madrid. ³Instituto de Investigaciones Científicas de Venezuela (IVIC), ⁴Laboratorio de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, LUZ. ⁵Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, LUZ.

Resumen

El suelo es un importante recurso natural que necesita ser preservado. Uno de los problemas más graves lo constituye la salinización. Se evaluó la biorrecuperación de un suelo con problemas salino-sódico con la aplicación de dos proporciones (1,5 y 3%) de tres enmiendas orgánicas: compost, vermicompost y *Lemna* mezclados con o no el 100% del requerimiento de fosfoyeso, generándose 15 tratamientos. Se utilizaron columnas simuladas de suelo y evolución gravimétrica de CO₂. La enmienda que mostró menos potencial en la biorrecuperación fue *Lemna* por sus altos contenidos de sodio (0,05%); sin embargo, los suelos donde se aplicó *Lemna*, mantuvieron una mayor producción de mg de C-CO₂, debido al aporte de materia orgánica fresca rápidamente mineralizada por los microorganismos, ésta alta biomasa microbiana favoreció la biorrecuperación; no obstante, deben seleccionarse fuentes de materiales orgánicos con bajo aportes de sodio.

Palabras clave: columnas simuladas de suelo, evolución de CO₂, biorrecuperación, suelos salinos.

Abstract

Soil is an important natural resource that needs to be preserved. One of the most serious problems is the salinization. The bioremediation of soil with saline-sodium problems was evaluated with the application of two ratios (1.5 and 3%)

three organic amendments: compost, vermicompost and *Lemna* or without mix with 100% of the requirement of phosphogypsum, generating 15 treatments. Columns used simulated ground gravimetric CO₂ evolution. The amendment that showed less potential for bioremediation was *Lemna* by high sodium content (0.05%), nevertheless, the soils where *Lemna* was applied maintained a higher yield of mg C-CO₂, due to the contribution of fresh organic matter rapidly mineralized by microorganisms, this microbial biomass favors high soil bioremediation nevertheless sources of organic materials with low sodium contributions must be selected.

Key words: columns simulated soil CO₂ evolution, bioremediation, saline soils.

Introducción

La contaminación del suelo agrícola por sales solubles es conocida como salinización (De la Rosa, 2008). La salinidad del suelo es una de las principales formas de su degradación en regiones áridas y semiáridas donde la precipitación es muy baja para mantener la regular percolación de sales de la zona de la raíces de los cultivos (Setia *et al.*, 2011).

La toxicidad por sales es uno de los factores edáficos que limitan la producción de cultivos y la calidad ecológica del ambiente en suelos salinos y/o sódicos (Makoi y Verplancke, 2010). A nivel mundial, los suelos afectados por salinidad cubren aproximadamente 10⁹ ha, de las cuales casi el 62% son salinos sódicos o sódicos (Tanji, 1990). La degradación de tierras por la salinidad incrementará su importancia en el futuro (Wong *et al.*, 2009), debido a que es necesario mantener la fertilidad de suelos para producir los alimentos de una población mundial en crecimiento.

El compost y vermicompost contienen una gran cantidad de microorganismos de los cuales se puede obtener beneficios de sus procesos metabólicos (servicios ecosistémicos),

Introduction

The pollution of agricultura soil by soluble salts is known as salinization (De la Rosa, 2008). The soil salinity is one of the main ways of its degradation in arid and semi arid regions where the precipitation is very low to keep the regular percolation of salts in the roots of crops (Setia *et al.*, 2011).

Toxicity by salts is one of the soil factors that limit the crop production and the ecological quality of the environment in saline and/or sodium soils (Makoi and Verplancke, 2010). Worldwide, the soils affected by salinity cover approximately 10⁹ ha, out of which 62% are sodium salines or sodium (Tanji, 1990). The land degradation by salinity will become more important in the future (Wong *et al.*, 2009), since it is necessary to keep the soil fertility to produce food worldwide.

Compost and vermicompost have a huge quantity of microorganisms, where benefits of their metabolic processes can be obtained (ecosystemic services), and these are mainly involved in the soil's recovery, therefore, the term bioremediation should not only be limited to rescue

y son éstos los que están involucrados principalmente en la recuperación del suelo; por lo tanto, no debe limitarse el término biorrecuperación solo al rescate de suelos contaminados por desechos químicos provenientes principalmente de la industria petrolera, debido a que también esta actividad microbiana favorece el restablecimiento de la fertilidad de suelos afectados por otros contaminantes como es el caso de las sales.

Tomando en cuenta que el problema de la salinidad de los suelos está mermando las superficies cultivables y que se disponen de sustratos orgánicos a los que se les debe dar una valorización agrícola, se planteó el objetivo de evaluar la biorrecuperación de un suelo con problemas salino-sódico a través de la aplicación de enmiendas orgánicas: compost, vermicompost sólido y *Lemna* mezclados con fosfoyeso, a través de la evolución del CO₂.

Materiales y métodos

El suelo objeto de estudio se ubicó en la planicie aluvial del Río Palmar, municipio Cañada de Urdaneta, estado Zulia, Venezuela, con latitud de 10°2'15" LN, 72°34'15" LO y una altitud de 49 msnm. El sitio de muestreo correspondió geomorfológicamente a una napa de limo de desborde con pendientes locales inferiores al 1% (Wilheums *et al.*, 1990). Según Soil Taxonomy (2010) el suelo se clasificó como un Fluventic Haplustepts, franco fino mixto, isohipérmico, fase severamente salino (USDA, 1993).

La zona de vida, según la clasificación de Holdridge, es un bosque seco tropical, con un clima subhúmedo, con

soils polluted by chemical wastes specially produced by oil enterprises, since this microbial activity also favors the restoring of soil fertility affected by other contaminants, such as salts.

The aim of this research was to evaluate the bioremediation of a soil with saline-sodium problems applying organic amendments: compost, solid vermicompost and *Lemna* mix with phosphogypsum, and the evolution of CO₂, considering that the salinity problem is affecting the crop areas, and there are organic substrates that should have agriculture value.

Materials and methods

The soil to be evaluated was located at the alluvial plain of Palmar river, Cañada de Urdaneta county, Zulia state, Venezuela, with a latitude 10°2'15" NL, 72°34'15" WL and an altitude of 49 masl. The sampling area corresponded geomorphologically as silt with local slopes inferior to 1% (Wilheums *et al.*, 1990). According to the Soil Taxonomy (2010), the soil was classified as Fluventic Haplustepts, fine mixed loamy, iso hyperthermal, severely saline (USDA, 1993).

The life's area, according to the Holdridge classification, is a dry tropical forest with a sub-wet weather with mean annual temperatures of 27°C and average precipitation of 850 mm.year⁻¹, with a wide dispersion in the annual volume and a marked erraticity in the rainy season. A total of 20 sub-samples were selected in the 20 cm of the soil.

For the bioremediation, three organic amendments were evaluated: two ripened materials: compost and

temperaturas medias anuales de 27°C y precipitación promedio de 850 mm.año⁻¹, con una amplia dispersión en los volúmenes anuales y marcada erraticidad en cuanto a la época de lluvia. Se seleccionó un total de 20 submuestras de los primeros 20 cm del suelo.

Para la biorrecuperación se evaluaron tres enmiendas orgánicas: dos materiales madurados: compost y vermicompost, y un material verde conformado por *Lemna* fresca. Además se evaluó una enmienda química, tradicionalmente utilizada para la recuperación de suelos salino-sódicos: el fosfoyeso, se aplicó al 100% de los requerimientos (GR) y dos veces el requerimiento (2GR). Todas las enmiendas orgánicas se utilizaron a dos dosis, 1,5 y 3,0% (m/m) mezcladas o no con fosfoyeso a la concentración del requerimiento (GR) del suelo generándose 15 tratamientos (cuadro 1).

Como enmienda química se utilizó Ca₂SO₄·2H₂O proveniente de un material almacenado en el Laboratorio de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. El GR fueron 2,79 Mg.ha⁻¹ y 5,58 Mg.ha⁻¹ de fosfoyeso para las proporciones del 100% GR y 2 GR, respectivamente. Tomando en consideración la densidad aparente del suelo y la profundidad, los mega gramos de las enmiendas orgánicas, las cuales se aplicaron al 1,5 y al 3,0%, fueron de 39,84 y 79,28 Mg.ha⁻¹, respectivamente.

El suelo se incubó con las enmiendas en columnas simuladas de suelo. Luego de tres meses de incubación, el efecto de las enmiendas en la biorrecuperación se midió a través de la evolución de CO₂. La colum-

vermicompost, and a green material formed by fresh *Lemna*. Also, a chemical amendment was evaluated, traditionally used to recover saline-sodium soils: phosphogypsum was applied at 100% of the requirements (GR) and twice the requirement (2GR). All the organic amendments were used at two doses 1.5 and 3.0% (m/m) with and without phosphogypsum, at the required concentration (GR) of the soil, generating 15 treatments (table 1).

As chemical amendment Ca₂SO₄·2H₂O was used, coming from a material stored at the Soil and Water Laboratory, Agronomy Faculty, Universidad del Zulia. The GR was 2.79 Mg.ha⁻¹ and 5.58 Mg.ha⁻¹ of phosphogypsum for the proportions of 100%, and 2GR respectively. Considering the apparent density of the soil and the depth, the mega grams of the organic amendments, which were applied at 1.5 and 3.0% were of 39.84 and 79.28 Mg.ha⁻¹, respectively.

The soil was incubated with amendments in simulated columns of the soil. Three months after the incubation, the amendment effect in the bioremediation was measured with the evolution of CO₂. The soil column was simulated in a polyethylene tube of 7.1 cm of diameter and 70 to 90 cm of longitude, according to the height of the soil mix with the amendments. The height varied from 20 cm for the soil without amendment to 38.33±0.8 cm to soils amended with *Lemna* at 3.0%.

During the soil incubation in the simulated columns, water was applied according to the precipitation registers of La Cañada station, located at 10°34' NL and 71°44' WL, in La Cañada de Urdaneta county, Zulia state, Vene-

Cuadro 1. Tratamientos evaluados según la enmienda orgánica utilizada y la proporción de yeso.**Table 1. Treatments evaluated according to the organic amendment used and the gypsum proportion.**

Tratamientos	Enmienda orgánica	Yeso	Proporción de la enmienda	Identificación
1	-	-	-	Testigo
2	-	+	2GR	Dos veces el Requer. de yeso
3	-	+	GR	100% el Requer. de yeso
4	Compost	-	1,5	Compost 1,5%
5	Compost	-	3,0	Compost 3,0%
6	Vermicompost	-	1,5	Vermicompost 1,5%
7	Vermicompost	-	3,0	Vermicompost 3,0%
8	Lemna	-	1,5	Lemna 1,5%
9	Lemna	-	3,0	Lemna 3,0%
10	Compost	+	1,5	Compost 1,5% + GR
11	Compost	+	3,0	Compost 3,0% + GR
12	Vermicompost	+	1,5	Vermicompost 1,5% + GR
13	Vermicompost	+	3,0	Vermicompost 3,0% + GR
14	Lemna	+	1,5	Lemna 1,5% + GR
15	Lemna	+	3,0	Lemna 3,0% + GR

na de suelo fue simulada en un tubo de polietileno de 7,1 cm de diámetro y 70 a 90 cm de longitud, según la altura de la mezcla del suelo con las enmiendas. La altura varió desde 20 cm para el suelo sin enmienda hasta $38,33 \pm 0,8$ cm para el suelo enmendado con *Lemna* al 3,0%.

Durante la incubación del suelo en las columnas simuladas se aplicó agua según los registros de precipitación de la estación La Cañada, ubicada a $10^{\circ}34'$ LN y $71^{\circ}44'$ LO, en el municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia, Venezuela; se utilizaron los datos correspondiente a los años 2005 hasta 2010, los cuales fueron suministrados por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Bolivariana Venezolana (FABV).

Se determinó el carbono mineralizado durante siete días al inicio y al final del ensayo de las columnas simuladas. La medición de la evolución de CO_2 se realizó mediante el método de incubación estática (Stotzky, 1965).

Las determinaciones se hicieron por triplicado para el ensayo de columnas simuladas de suelos y la evolución de CO_2 . Cada una de las experiencias fue estudiada mediante análisis de varianza, y una vez determinada la significancia estadística, se procedió a realizar las pruebas de media por Tukey, para lo cual se utilizó el paquete para análisis estadístico Statistix v.9.

Resultados y discusión

La cantidad de mg de C- CO_2 medida al inicio de la aplicación de las enmiendas orgánicas y química registró diferencias significativas ($P < 0,05$).

zuela; the data correspondent to 2005 until 2010 was used, which was provided by the Meteorology Service of the Venezuelan Bolivarian Air Force (FABV).

The mineralized carbon was determined during 7 days at the beginning and end of the research in the simulated columns. The measurement of the CO_2 evolution was performed using the static incubation method (Stotzky, 1965).

The determinations were carried out by triplicate, for the trial of simulated columns of soils, and the CO_2 evolution. Each of the experiences were studied using the variance analysis, and once determined the statistical significance, the Tukey test was performed, using the statistical software Statistix v.9.

Results and discussion

The mg quantity of C- CO_2 measured at the beginning of the application of organic amendments registered significant differences ($P < 0,05$). At the beginning, the highest C- CO_2 accumulated within 7 days was 294.54 ± 13.45 mg.kg⁻¹ for the treatments that showed the highest proportion of *Lemna*, independent of the gypsum content, statistically different ($P < 0,05$) from the witness treatment, where the lowest value was observed of 103.63 ± 10.38 mg.kg⁻¹; however, none significant differences were detected ($P > 0,05$) between the witness and all the soils amended with compost and vermicompost, no matter the proportion used of the amendment and the use of gypsum (figure A).

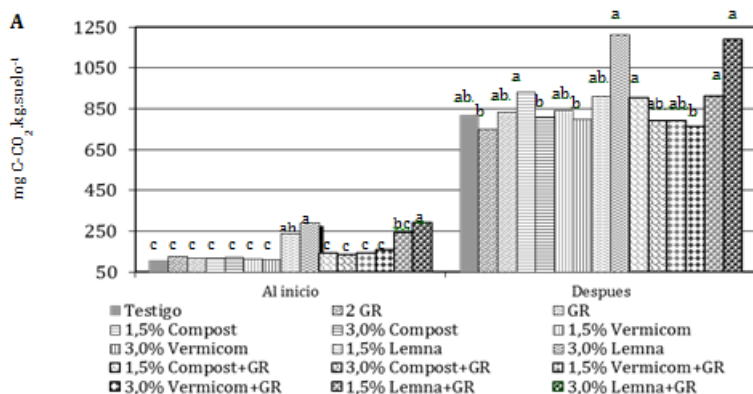
Al inicio el mayor C-CO₂ acumulado a los siete días fue de 294,54±13,45 mg.kg⁻¹ para los tratamientos que presentaron la mayor proporción de *Lemna* indistintamente al contenido de yeso, diferenciándose estadísticamente (P<0,05) del tratamiento testigo en el cual se observó el menor valor con 103,63±10,38 mg.kg⁻¹; sin embargo, no se detectaron diferencias significativas (P>0,05) entre el testigo y todos aquellos suelos enmendados con compost y vermicompost indiferentemente de la proporción utilizada de la enmienda y del uso de yeso (figura 1A).

Al observar la evolución del CO₂ durante los siete días de evaluación al inicio de la aplicación de las enmiendas, en la figura 1B se evidenció que durante el período de evaluación los tratamientos en donde se aplicó *Lemna* en las dosis de 1,5 y 3%, mantuvieron su mayor producción de mg de C-CO₂. La producción fue mayor en la proporción del 3% sin tomar en cuenta el uso del yeso. La producción de C-CO₂ al final de la evaluación tuvo la misma tendencia que al inicio, los mayores valores se registraron en los tratamientos con *Lemna* al 3% con 1213,6 mg.kg⁻¹ sin la aplicación de yeso, no presentando diferencias significativas (P>0,05) con el testigo. El menor registro se observó en el tratamiento con la aplicación de solo yeso a la proporción de dos veces el requerimiento de yeso con 749±150,36 mg.kg⁻¹ (figura 1A).

Transcurridos los tres meses en que los suelos enmendados y el testigo fueron lixiviados con una cantidad de agua equivalente a la precipitación promedio anual de la zona menos el agua que se perdió por lixiviación y

When observing the CO₂ evolution during the seven days of evaluation, at the beginning of the application of the amendments, in figure 1B is observed that during the evaluation period, the treatments where *Lemna* was applied at doses of 1.5 and 3%, these kept their highest mg production of C-CO₂. The production was higher in the proportion of 3%, without considering the application of gypsum. The production of C-CO₂ at the end of the evaluation had the same tendency than at the beginning, the highest values were registered in treatments with *Lemna* at 3% with 1213.6 mg.kg⁻¹ without the application of gypsum, with none significant difference (P>0.05) with the witness. The lowest register was observed in the treatment with the application on gypsum with twice the requirement of gypsum with 749±150.36 mg.kg⁻¹ (figure 1A).

Three months after amended the soils and leached the witnesses with a water quantity equal to the annual average precipitation of the area minus the water lost by leaching and runoff (mm), the production of C-CO₂ increased more than 73% in all the treatments, registering the lowest values in treatment with *Lemna*, with significant differences (P<0.05) with the rest of the treatments (table 2). According to Nwachukwu and Pulford (2011), who considered the CO₂ relation production before and after applying the amendment, this percentage can be considered as remediation of saline soils, since a higher CO₂ evolution produced. When observing the data, it can be inferred that independently the



Dentro de cada periodo letras diferentes difieren con una probabilidad del 0,05%, según la Prueba de Medias de Tukey

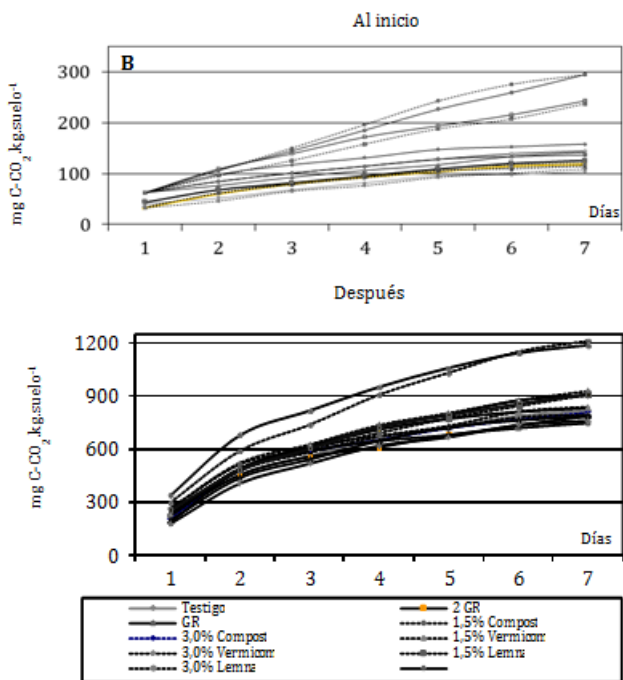


Figura 1 A. Producción acumulada de C-CO₂. B. Evolución de C-CO₂ Al inicio y después de tres meses de la aplicación de enmiendas orgánicas.

Figure 1A. C-CO₂ accumulated production. B. C-CO₂ evolution at the beginning and after three months of application of organic matter.

escorrentía (mm) la producción de C-CO₂ aumentó en todos los tratamientos más del 73%, registrándose los menores valores en los tratamiento con *Lemna* con diferencias significativa ($P < 0,05$) con el resto de los tratamientos (cuadro 2). Según Nwachukwu y Pulford (2011) quienes consideraron la relación de producción de CO₂ antes y después de aplicar la enmienda, podría considerarse este porcentaje como recuperación de los suelos salinos, ya que se produjo una mayor evolución del CO₂. Al observar los datos podría inferirse que independientemente de la enmienda orgánica que se utilizó todos los tratamientos, incluso el testigo, se recuperaron por efecto del agua aplicada.

En la evolución de C-CO₂ al final del periodo de lixiviación los tratamientos donde se registraron las mayores producciones fueron los suelos enmendados con *Lemna* al 3% con y sin la aplicación de yeso (figura 1B) registrándose diferencias con el resto de los tratamientos; sin embargo, los mayores valores de biorecuperación se observaron en los tratamientos con compost y vermicompost con porcentaje promedio de 85%. El porcentaje más alto de recuperación de un suelo observado por Nwachukwu y Pulford (2011) fue de 96,2% en un suelo enmendado con la proporción más alta evaluada, el 20% de fibra de coco, en las dosis similares a las usadas en esta investigación, el porcentaje de recuperación fue de 67,7% con el 1% de turba de coco.

La aplicación de enmiendas orgánicas no solo incrementó la materia orgánica del suelo, sino que permitió el incremento de la vegetación

organic amendment used, all the treatments, even the witness, remediated by effect of the water applied.

In the C-CO₂ evolution at the end of the leaching period, the treatments where the highest productions registered were the soils amended with *Lemna* at 3% with and without the application with gypsum (figure 1B), with differences with the rest of the treatments; however, the highest bioremediation values were observed in treatments with compost and vermicompost, with average percentage of 85%. The highest remediation percentage of a soil observed by Nwachukwu and Pulford (2011) was 96.2%, in a soil amended with the highest evaluated proportion, 20% of the coconut fiber in doses similar to the ones used in this research; the remediation percentage was of 67.7% with 1% of coconut peat.

The application of organic amendments did not only increase the organic matter of the soil, but it also allowed the increment of the natural vegetation to keep a high microbial biomass. Pascual *et al.*, (2000) using the basal breathing to measure the remediation of abandoned soils by losing their usage period due to a incorrect handle, from the agriculture point of view, observed that the highest C-CO₂ rates were obtained by the organic amendments applied in the highest proportion of 26 kg.m⁻²; indicating that the fact of knowing the biological and biochemical status of the soil, was an useful tool for the diagnose of the soil capacity to regenerate.

Cuadro 2. Porcentaje de mejoramiento de los suelos enmendados tomando en cuenta la producción de C-CO₂ acumulada en siete días, antes y después de aplicar la enmienda.

Table 2. Improvement percentage of amended soils considering the C-CO₂ production accumulated in seven days, before and after applying the amendment.

Tratamientos	% Mejoramiento
Testigo	87,3±12,3 ^A
2GR	83,3±10,7 ^A
GR	85,8±11,5 ^A
Compost 1,5%	87,54±9,5 ^A
Compost 3,0%	85,1±5,97 ^A
Vermicompost 1,5%	86,39±9,2 ^A
Vermicompost 3,0%	86,3±12,5 ^A
<i>Lemna</i> 1,5%	73,9±9,58 ^B
<i>Lemna</i> 3,0%	75,7±10,4 ^B
Compost 1,5% + GR	84,0±13,0 ^A
Compost 3,0% + GR	82,73±8,4 ^A
Vermicompost 1,5%+GR	82,04±9,7 ^A
Vermicompost 3,0%+GR	79,2±8,84 ^{ab}
<i>Lemna</i> 1,5% + GR	73,4±10,2 ^B
<i>Lemna</i> 3,0% + GR	75,24±5,8 ^B

Letras diferentes difieren con una probabilidad del 0,05%, según la Prueba de medias de Tukey.

natural para mantener una alta biomasa microbiana. Pascual *et al.*, (2000) al utilizar la respiración basal para medir la recuperación de suelos abandonados por haber perdido su utilidad desde el punto de vista agrícola por un mal manejo, observaron que las mayores tasas de C-CO₂ fueron obtenidas por las enmiendas orgánicas aplicadas en la mayor proporción de 26 kg.m⁻²; indicando que el conocer el estatus biológico y bioquímico del suelo fue una herramienta útil para el diagnóstico de la capacidad de un suelo para regenerarse.

Conclusions

Lemna was the amendment that registered the highest CO₂ evolution values; however, it registered the lowest bioremediation percentage (73%).

The use of organic amendments, compost and vermicompost in 1.5% proportions might be used for the bioremediation of saline-sodium soils.

Acknowledgment

The authors Acknowledgment thank the Scientific, Humanistic and

Conclusiones

La enmienda con la cual se registró los más altos valores de evolución del CO₂ fue la *Lemna*; sin embargo, registró el menor porcentaje (73%) de biorecuperación.

El uso de las enmiendas orgánicas, compost y vermicompost, en proporciones de 1,5% podrían ser utilizadas para la biorrecuperación de suelos salino-sódicos.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CONDES) por el financiamiento al proyecto VAC-CONDES-CC-0056-11.

Literatura citada

De la Rosa, D. 2008. Evaluación agroecológica de suelos – para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi Prensa-Madrid. 404 p.

Makoi, J.H.J. 1995. Effectiveness of gypsum application in reclaiming a saline soil. MSc. Thesis, Ghent University, Faculty of Agricultural and Applied Biological Science, International Centre for Eremology, Ghent, Belgium.

Makoi, J. y H. Verplancke. 2010. Effect of gypsum placement on the physical chemical properties of a saline sandy loam soil. *Australian Journal of Crop Science* 4:556-563.

Nwachukwu, O. e I. Pulford 2011. Microbial respiration as an indication of metal toxicity in contaminated organic materials and soil. *Journal of Hazardous Materials* 185:1140-1147.

Technological Board (CONDES) by the economic support provided to the Project VAC-CONDES-CC-0056-11.

End of english version

Pascual, J., C. García, T. Hernández, J. Moreno y M. Ros. 2000. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry* 32:1877-1883.

Setia, R., P. Marschner, J. Baldock, D. Chittleborough, P. Smith y J. Smith 2011. Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture. *Soil Biology and Biochemistry* 43:1908-1916.

Stotzky, G. 1965. Microbial respiration. pp. 1550-1572. En: *Methods of soil analysis*. Pat. 2. Blak, C., Evans, D., Ensminger, L., White, J. and Clark, F. (Eds). American society of Agronomy, Madison.

Tanji, K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. pp. 1-17. En: *Agricultural salinity assessment and management*. Tanji K.K. (Ed.) (ASCE manuals and reports on engineering practices 71). ASCE, New York.

United State Department of Agriculture- USDA. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. Soil Surv. Div. Staff. U. S. Dep. Agric. USA. Handbook No. 18.

Wong, V.N.L., R. Dalal y R. Greene 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology* 41:29-40.