

Biorrecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. II. Lavado de sales

Bioremediation of saline soils using organic materials. II. Leaching of salts

J.A. Hernández-Araujo¹, G. Gascó Guerrero²,
L. Mármol³, J. Bárcenas³ y V. Polo³

¹Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia (LUZ). ²Departamento de Edafología, Escuela de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid. ³Departamento de Ingeniería Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, LUZ.

Resumen

El suelo es un elemento vivo, lleno de una biodiversidad, que lo convierten en uno de los ecosistemas indispensables para la vida. Por el mal uso se han desertizado gran cantidad de suelos por la salinización. El objetivo fue evaluar la biorrecuperación de un suelo con problemas de sales con la aplicación de dos proporciones [1,5 y 3% (p/p)] de tres enmiendas orgánicas: compost, vermicompost sólido y *Lemna* mezclados o no con el 100% del requerimiento de fosfoyeso, generándose 15 tratamientos. La evaluación se realizó en columnas simuladas de suelos incubados con los materiales orgánicos; compost y vermicompost fueron procesados con el uso de estiércol de ganado bovino; la *Lemna* fue recolectada de orillas del Lago de Maracaibo. Se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos, para la variables conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio y el porcentaje de sodio intercambiable, no hubo diferencias entre las proporciones ni entre el uso del fosfoyeso. El material que mostró menos potencial en la biorrecuperación fue la *Lemna* por sus altos contenidos de Na^+ . La metodología de las columnas simuladas del suelo, bajo las condiciones de estudio, no fue del todo apropiada para evaluar la biorrecuperación motivado a que en el suelo testigo, por efecto de la aplicación de agua, también hubo recuperación del mismo por su disminución en el contenido de sales, su recuperación fue mayor que en las columnas de suelo enmendados con *Lemna*. La enmienda vermicompost al 1,5% se recomienda para la biorrecuperación de suelos afectados por sales.

Palabras clave: Columnas simuladas de suelo, conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio, porcentaje de sodio intercambiable, biorrecuperación, suelos salino sódicos, lavado de sales.

Recibido el 30-4-2012 ● Aceptado el 7-10-2013

Autor de correspondencia e-mail: jacquihernandez@fa.luz.edu.ve

Abstract

Soil is a live element filled with a biodiversity, making it one of the essential ecosystems for life. For misuse have been blighted for many soil salinization. The objective was to evaluate the bioremediation of a soil with salt problems with the application of two proportions [1.5 and 3% (w/w)] of three organic amendments: compost, vermicompost and *Lemna* solid blend or not with 100% the requirement of phosphogypsum, generating 15 treatments. The evaluation was conducted in simulated soil columns incubated with organic materials, compost and vermicompost were processed with the use of cow manure, *Lemna* was recollected from the shores of Maracaibo's Lake. Significant differences ($P < 0.05$) between treatments for the variable electrical conductivity, sodium absorption ratio and exchangeable sodium percentage, there were no differences between the proportions and the use of phosphogypsum. The material with less potential for bioremediation was the *Lemna* by its high contents of Na^+ . The methodology of simulated soil columns under the study conditions was entirely appropriate to evaluate the bioremediation driven into the ground to control the effect of water application. Also, there was recovery of the product of its reduction in the content of salts, its recovery was higher in those amended with *Lemna*. The amendment vermicompost at 1.5% is recommended for bioremediation of soils affected by salts.

Key words: simulated soil columns, electrical conductivity, sodium absorption ratio, percent sodium exchange.

Introducción

Aunque el ecosistema suelo es considerado uno de los recursos naturales indispensable para el desarrollo de la vida, es también el mayor depósito de materiales contaminantes del planeta, proveniente de las diferentes actividades humanas. Como consecuencia, el suelo puede ser destruido o degradado significativamente en poco tiempo; esta degradación puede ser física, química y biológica.

La disminución de materia orgánica del suelo en los agroecosistemas se debe a las pérdidas de carbono a través de la oxidación y la erosión, por el cultivo intensivo no son compensadas por las entradas de carbono a través

Introduction

Even though the soil ecosystem is considered one of the most important natural resources for the development of life, is also the highest source of pollutant materials of the planet, coming from the different human activities. Consequently, the soil can be significantly destroyed or degraded in little time; this degradation can be physical, chemical or biological.

The reduction of the organic matter of the soil in the agroecosystems is due to the carbon losses through the oxidation and erosion, because the intensive crops are not compensated by the inputs of carbon through the return of the vegetal biomass (Grant,

del retorno de la biomasa vegetal (Grant, 1997). En los suelos afectados por sales, los niveles de carbono orgánico del suelo son generalmente bajos, como resultado del crecimiento pobre de las plantas; además, la descomposición de la materia orgánica del suelo pueden verse afectada negativamente por factores como la salinidad (Setia *et al.*, 2011).

Las entradas de carbono en los suelos afectados por sales disminuyeron a medida que disminuyó el crecimiento de vegetación debido a los efectos directos de iones tóxicos y el aumento del potencial osmótico, y los efectos indirectos en el desmejoramiento de la estructura del suelo (Wong *et al.*, 2009).

Un suelo contaminado puede en forma espontánea a través de procesos biológicos no inducidos reducir el nivel de contaminación con el paso del tiempo (bioatenuación natural), hasta llegar en algunos casos a revertir casi completamente el deterioro causado por sustancias contaminantes, con excepción de algunos compuestos recalcitrantes que resisten la acción microbiana (Ercoli *et al.*, 1999).

Pero en otras ocasiones el suelo permanece “indefinidamente” contaminado sin que se observen signos de recuperación alguna. Esto significa que los recursos naturales con que el suelo se defiende han sido sobrepasados y los procesos de recuperación espontáneos no tienen lugar (Ercoli *et al.*, 1999). Esta degradación del suelo, se ha convertido en una preocupación importante ya que existe una creciente conciencia de que el suelo es un componente crítico de la biosfera, no solo por la pro-

1997). In the soils affected by salts, the levels of organic carbon of the soil are generally low as a result of the poor grow of the plants; also, the decomposition of the organic matter of the soil can be negatively affected by factors such as salinity (Setia *et al.*, 2011).

The inputs of carbon in the affected soils by salts reduced at the time that decreased the vegetative growth due to the direct effects of toxic ions and the potential osmotic increment, and the indirect effects in the deterioration of the soil structure (Wong *et al.*, 2009).

A polluted soil can spontaneously through biologic non induced processes reduce the pollution level with the time (natural biomitigation) until, in some cases, reverting almost completely the damage caused by pollutant substances, excepting in some recalcitrant compounds that resist the microbial action (Ercoli *et al.*, 1999).

But in other time, the soil remains “indefinitely” polluted without any sign of recovery. This means that the natural resources used by the soil to defend have been exceeded and the spontaneous recovery processes have none place (Ercoli *et al.*, 1999). This soil degradation has become into a general concern, since there is a crescent belief that the soil is a critic component of the biosphere, not only by the production of food, but also by its quality’s maintenance of environment (Marcotea *et al.*, 2001).

Therefore, the soil is an important natural resource that needs to be preserved so it could improve its productive capacity (Pascual *et al.*,

ducción de alimentos, sino también por el mantenimiento de la calidad del ambiente (Marcotea *et al.*, 2001).

Por lo tanto, el suelo es un importante recurso natural que necesita ser preservado, para que mejore su capacidad productiva (Pascual *et al.*, 2000), y para ello se deben proponer y aplicar prácticas sostenibles que permitan recuperar aquellos suelos degradados por un mal manejo del hombre, entre los que destaca la salinización del suelo.

La aplicación de material orgánico formado por restos vegetales o de origen animal, con un gran contenido de nutrientes mejoró el crecimiento bacteriano y la velocidad de la degradación de los contaminantes en el suelo (Eweis *et al.*, 1999; Arancon *et al.*, 2005). Chirinos (2007) indicó que la dosis óptima recomendada de materia orgánica para suelos osciló entre 50 y 100 Mg.ha⁻¹, rango dentro del cual se ha registrado el mayor valor de estabilidad estructural del suelo. He *et al.* (1995) refirieron dosis de 0,22 y 0,74 Mg.m⁻³ para mejorar la densidad aparente en suelos salinos, debido a que incrementó la agregación del mismo.

Existen también evidencias del uso combinado de enmiendas químicas y orgánicas para superar los problemas de los suelos salinos (Liu y Hue, 2001; Makoi y Ndakidemi, 2007; Haisheng *et al.*, 2008; Wong *et al.*, 2009; Jalali y Ranjbar, 2009; Sebastian *et al.*, 2009; Muhammad y Khattak, 2011). La adición de la materia orgánica mezclada con yeso ha sido positiva en la reducción de los factores adversos a las propiedades del suelo asociadas a los contenidos de Na⁺ (Vence *et al.*, 1998).

2000), this, sustainable practices should be proposed and applied, that would allow recovering those soils degraded by a misuse of the man, such as the salinization of the soil.

The application of organic matter formed by vegetal or animal leftovers with a great content of nutrients, improved the bacterial grow and the degradation velocity of the contaminants in the soil (Eweis *et al.*, 1999; Arancon *et al.*, 2005). Chirinos (2007) indicated that the recommended optimum dose of organic matter for soils oscillated from 50 to 100 Mg.ha⁻¹, rank where the highest value of the structural soil stability has been registered. He *et al.*, (1995) referred doses from 0.22 and 0.74 Mg.m⁻³ to improve the apparent density in saline soils, since it incremented the aggregation of it.

There are evidences of the combined use of chemical and organic amendments to overcome the problems of saline soils (Liu and Hue, 2001; Makoi and Ndakidemi, 2007; Haisheng *et al.*, 2008; Wong *et al.*, 2009; Jalali and Ranjbar, 2009; Sebastian *et al.*, 2009; Muhammad and Khattak, 2011). The addition of organic matter mix with gypsum has been positive in the reduction of adverse factors to the soil properties associated to the contents of Na⁺ (Vence *et al.*, 1998).

It has been recently been researched the effectiveness of mulch, manure and compost to accelerate the leaching of Na⁺, reduction of the exchangeable sodium percentage and the electrical conductivity to increase the water filtration, the humidity retention capacity and the stability of

Recientemente se ha investigado la efectividad del mulch, estiércoles y compost para acelerar el lixiviado de Na^+ , la disminución del porcentaje de sodio intercambiable y la conductividad eléctrica, y para incrementar la infiltración de agua, la capacidad de retención de humedad y la estabilidad de agregados (Pascual *et al.*, 2000; Tejada *et al.*, 2006; Sahin *et al.*, 2011).

Al recuperar y mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos degradados en zonas semiáridas con la aplicación de enmiendas orgánicas se mejoró el ciclo de los nutrientes (Ros *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2007). El aumento de la calidad y el valor de la producción agrícola con la aplicación de enmiendas orgánicas se suele medir en términos de su contribución al suministro de nutrientes y la fertilidad del mismo. Sin embargo, también pueden tener efectos significativos en las propiedades microbiológicas y químicas del suelo, que han sido indirectamente responsables del mejoramiento y del crecimiento de los cultivos (Arancon *et al.*, 2003), y de la biorrecuperación de los suelos contaminados (Park *et al.*, 2011).

Entendiendo que el suelo necesita ser recuperado del problema de salinización y que los restos orgánicos pueden revertir este daño, se planteó el objetivo de evaluar la biorrecuperación de un suelo con problemas salino-sódico a través de la aplicación de tres enmiendas orgánicas, como fueron, compost, vermicompost sólido y *Lemna* mezclados con fosfoyeso, evaluando el lavado de sales.

the aggregates (Pascual *et al.*, 2000; Tejada *et al.*, 2006; Sahin *et al.*, 2011).

Recovering and improving the physical and chemical properties of the degraded soils in semi-arid areas with the applications of organic amendments improved the cycle of nutrients (Ros *et al.*, 2002; Clark *et al.*, 2007). The increment of the quality and value of the agriculture production with the application of organic amendments is normally measured in terms of their contribution to the supply of nutrients and fertility. However, it also might have significant effects on the microbiological and chemical properties of the soil, that have been indirectly responsible to the improvement and grow of the crops (Arancon *et al.*, 2003), and the bioremediation of the polluted soils (Park *et al.*, 2011).

Understanding that the soil needs to be recovered from the salinization problem and that the organic leftovers can revert the damage, the objective of this research was to evaluate the bioremediation of a soil with saline-sodium problems applying organic amendments, such as compost, solid vermicompost and *Lemna*, mixed with phosphogypsum, and evaluating the leaching of salts.

Materials and methods

Area under research

The soil sampled at Alto Viento farm, belonging to the Agronomy Faculty, Universidad del Zulia, located on the alluvial plain of the Palmar

Materiales y métodos

Área de estudio

El suelo se muestreo en la Hacienda Alto Viento, perteneciente a la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, ubicada en la planicie aluvial del río Palmar en el municipio La Cañada de Urdaneta, estado de Zulia, Venezuela, coordenadas 10°2'15" LN, 72°34'15" LO y una altitud de 49 msnm.

Geomorfológicamente el suelo correspondió a una napa de limo de desborde con pendientes locales inferiores al 1% (Wilheums *et al.*, 1990). Definido como un Fluventic Haplustepts (Soil Taxonomy, 2010), franco fino mixto, isohipertérmico, fase severamente salino (USDA, 1993).

La zona de vida es un bosque seco tropical (Holdridge, 1947), clima subhúmedo, con 27°C y 850 mm.año⁻¹, con una amplia dispersión en los volúmenes anuales y marcada erraticidad en cuanto a la época de lluvia.

Preparación de materiales

Se evidenció el problema de salinidad por la ausencia de vegetación, y se corroboró al realizar una caracterización físico-química de los mismos (Hernández, 2012). Se seleccionaron un total de 20 sub muestras de los primeros 20 cm de profundidad, las cuales se mezclaron para tener una muestra homogénea de suelo.

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 salinosódicos: el fosfoyeso, el cual formó par-

river, La Cañada de Urdaneta county, Zulia state, Venezuela, with the coordinates 10°2'15" NL, 72°34'15" WL and an altitude of 49 masl.

Geomorphologically the soil corresponded to an overflow silt layer with local slopes inferior to 1% (Wilheums *et al.*, 1990). Defined as a Fluventic Haplustepts (Soil Taxonomy, 2010), mixed fine loamy, iso-hypertherm, and severely saline (USDA, 1993).

The life's area is a tropical dry forest (Holdridge, 1947), sub-humid climate with 27°C and 850 mm.year⁻¹, with a wide dispersion in the annual volumes and marked erraticity regarding the rain season.

Preparation of the materials

The salinity problem was seen by the absence of vegetation, and was proved when performing the physicochemical characteristics (Hernández, 2012). A total of 20 sub-samples of the first 20 cm of depth were selected, which were mixed until obtaining a homogeneous sample of the soil.

Three organic amendments were evaluated: two ripened materials: compost and vermicompost, and a green material formed by fresh *Lemna*.

A chemical amendment was also evaluated, traditionally used for the recovery of saline-sodium soils: the phosphogypsum, which formed part of the witnesses. The requirements of this amendment was applied in 100% (GR; by the acronyms in English) and twice the required (2GR), thus, there were three witnesses. The dose of the organic amendments were 1.5 and 3.0% (p/p) mixed and unmixed with phosphogypsum at a concentration of

te de los testigos. Se aplicó al 100% de los requerimientos de esta enmienda (GR; por sus siglas en la traducción en el idioma inglés), y dos veces el requerimiento (2GR); hubo así tres testigos. Las dosis de las enmiendas orgánicas fueron al 1,5 y 3,0% (p/p) mezcladas o no con fosfoyeso a la concentración del requerimiento de yeso (GR) del suelo generándose 15 tratamientos (cuadro 1).

La enmienda química que se utilizó fue $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, un material almacenado en el Laboratorio de Ingeniería de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Este material provino del Complejo Petroquímico Morón, Venezuela. Su caracterización física y química se muestra en el cuadro 2.

Para calcular los mega gramos por hectárea, se tomó en cuenta la densidad aparente (Da) del suelo la cual fue de $1,33 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ y la profundidad del suelo que se tomó para la evaluación fue de 20 cm. Los resultados arrojaron que el GR fue de 2,79 y 5,58 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fosfoyeso para las proporciones del 100% GR y 2GR, respectivamente.

El compost fue preparado en la Hacienda Alto Viento, finca de doble propósito (ganado de carne y leche), con estiércol bovino (raza cruce de *Brahman***Brahman* pardo) alimentado con los pastos (*Echinochloa polystachya* y *Cynodon dactylon*) y sustentados con alimento concentrado y minerales. Para el compost se realizaron volteos semanales por un periodo de 30 días, hasta que se estabilizó la temperatura a 27°C. El material compostado se dividió en dos partes iguales, una de las cuales se tapó, se

the gypsum requirement (GR) of the soil, generating 15 treatments (table 1).

The chemical amendment used was $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a material stored at the Engineer Laboratory of Soil and Water, at the Agronomy Faculty, Universidad del Zulia. This material came from the Petro-chemical complex Morón, Venezuela. Its physical and chemical characterization is shown on table 2.

To calculate the mega grams per hectare, the apparent density of the soil (Da) was considered, which was of $1.33 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, and the depth of the soil taken for the evaluation was of 20 cm. The results showed that the GR was of 2.79 and 5.58 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ of phosphogypsum for the proportions of 100% GR and 2GR, respectively.

The compost was prepared at Alto Viento farm, which is a double-purpose farm (cattle for meat and milk), with cow manure (breed *Brahman***Brown Brahman*) fed with the pastures (*Echinochloa polystachya* and *Cynodon dactylon*) and fed with concentrated food and minerals. For the compost, weekly removals were performed for a period of 30 days, until the temperature stabilized at 27°C. The compost was divided into two equal parts, one of which was sealed and let under field's conditions ($30.72 \pm 4.4^\circ\text{C}$) and none treatment was applied, it was only used as a compost.

To the other part of the compost, adult worms were added ($787.73 \pm 28.67 \text{ mg} \cdot \text{worm}^{-1}$), at a density of 2000 worms. m^{-2} of the *Eisenia andrei* specie. After two months, the vermicompost accumulated in the superficial part of the stonemason was recollected. Both

Cuadro 1. Proporción de enmiendas orgánicas y yeso utilizadas.
Table 1. Proportion of organic amendment and gypsum used.

Tratamientos	Enmienda orgánica	Yeso	Proporción de la enmienda	Identificación
1	-	-	-	Testigo
2	-	+	2GR	Dos veces requerimiento de yeso
3	-	+	GR	100% requerimiento 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	<i>Lemna</i>	-	1,5	<i>Lemna</i> 1,5%
9	<i>Lemna</i>	+	3,0	<i>Lemna</i> 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	<i>Lemna</i>	+	1,5	<i>Lemna</i> 1,5% + GR
15	<i>Lemna</i>	+	3,0	<i>Lemna</i> 3,0% + GR

Cuadro 2. Caracterización físico-química del fosfoyeso utilizado como enmienda química.**Table 2. Physical-chemical characterization of phosphogypsum used as chemical amendment.**

	Características	%
# Tamiz	20	0,0
	40	0,3
	60	1,6
	100	52,7
	Fondo	52,7
	Humedad	14,64
	Ca ²⁺	24,20
	S	7,20
	P	0,18
	Otros	68,42
	Eq. CO ₃	n.a.

Eq. CO₃ determinado en el Laboratorio de Ingeniería Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Fuente: Bárcenas (2010).

dejó a condiciones de campo (30,72±4,4°C) y no se le realizó ningún otro tratamiento, y se utilizó como compost.

A la otra parte del compost se le sembró lombrices adultas (787,73±28,67 mg.lombriz⁻¹), a una densidad de 2000 lombrices.m⁻², de la especie *Eisenia andrei*. Después de dos meses se recolectó el vermicompost acumulado en la parte superficial del cantero. Tanto el compost y vermicompost, fueron trasladados al laboratorio, secados al aire, molidos, tamizados (2 mm) y almacenados a 18°C hasta su mezcla en el suelo a las dosis indicadas.

La *Lemna* fue recogida de orillas del Lago de Maracaibo, en la ciudad de Maracaibo y se transportó al labo-

the compost and vermicompost were taken to the laboratory, were let dried with the environment, grounded and sifted (2 mm) and stored at 18°C until its mix in the soil at the indicated doses.

Lemna was recollected from the shores of the Maracaibo's Lake, Maracaibo city, and taken to the laboratory and stored at a temperature of 4°C until its use in a fresh way.

According to the Da of the soil and the sampling depth (20 cm), the mega grams of the organic amendments were calculated, which were applied at 1.5 and at 3.0%, the application rate was of 39.84 and 79.68 Mg.ha⁻¹, respectively.

For the physical and chemical characterization of the soil and the

ratorio, fue almacenada a una temperatura de 4°C hasta su utilización en forma fresca.

Según la Da del suelo y la profundidad de muestreo (20 cm), se calculó los mega gramos de las enmiendas orgánicas, las cuales se aplicaron al 1,5 y al 3,0%, la tasa de aplicación fue de 39,84 y 79,68 Mg.ha⁻¹, respectivamente.

Para la caracterización física y química del suelo y las enmiendas orgánicas se realizaron una serie de análisis según los protocolos estándares de los análisis de suelos y enmiendas orgánicas.

Construcción de columnas de suelos

La columna de suelo fue simulada en tubos de polietileno de 7,1 cm de diámetro y 70 a 90 cm de longitud, según la altura de la mezcla del suelo con los materiales orgánicos. En el fondo de cada columna se colocó 40 cm de arena lavada para permitir el drenaje. El suelo fue colocado en pequeñas cantidades para permitir uniformidad en la columna, la cantidad de suelo fue igual para todas las columnas (1055 mg) la altura dentro de la columna dependió del tipo de material orgánico y su proporción, la cual modificó la Da del suelo (1,328±0,05 g.cm⁻³). La variación de la altura fue desde 20 cm para el suelo sin enmienda hasta 38,33±0,8 cm para el suelo enmendado con *Lemna* al 3,0%.

Cálculo de infiltración

Se emplearon los registros de precipitación de la estación La Cañada, ubicada a 10°34' LN y 71°44' LO, en el municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia, Venezuela; se utilizaron los datos correspondientes a los años

organic amendments, a couple of analyses were followed according to the standard protocols of the soil analyses and organic amendments.

Construction of soil columns

The soil column was simulated in polyethylene tubes of 7.1 cm of diameter and from 70 to 90 cm of longitude, according to the height of the soil's mix with the organic materials. At the bottom of each column 40 cm of washed sand were added to allow the drainage. The soil was put in small quantities to allow obtaining uniformity in the column, the soil's quantity was equal for all the columns (1055 mg), the height inside the column depended on the type of the organic material and its proportion, which modified the Da of the soil (1.328±0.05 g.cm⁻³). The height variation was from 20 cm for the soil without amendment until 38.33±0.8 cm for the soil amended with *Lemna* at 3.0%.

Calculus of infiltration

The precipitation registers of La Cañada station were employed, located at 10°34' NL and 71°44' WL, at La Cañada de Urdaneta, Zulia state, Venezuela; the corresponding data of years from 2005 to 2010 was used, which was supplied by the Meteorological Service of the Venezuelan Air Force of (FABV).

In Venezuela there is not enough data about the evapotranspiration (Khanet *et al.*, 1998; Méndez-Arochay Rojas, 1973; Trezza, 2008), therefore, the value 0.8 was used as an association coefficient between the evaporation measured by the tub method and the evapotranspiration (Padilla, 1964; López and Mathison,

2005 hasta 2010 los cuales fueron suministrados por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Bolivariana Venezolana (FABV).

En Venezuela no existen suficientes datos de evapotranspiración (Khan *et al.*, 1998; Méndez-Arochay Rojas, 1973; Trezza, 2008) por lo tanto se utilizó el valor de 0,8 como coeficiente de asociación entre la evaporación medida por el método de tina y la evapotranspiración (Padilla, 1964; López y Mathison, 1967). Se calculó la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración en la zona en estudio, luego se tomó solo los meses en que la precipitación fue mayor que la evaporación generando datos positivos, y con ellos se generó los cálculos de la infiltración (cuadro 3).

Análisis estadístico

Las determinaciones se hicieron por triplicado y los datos se analizaron mediante un análisis de varianza, 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. (2009).

Resultados y discusión

Caracterización física del suelo

En el cuadro 4 se presenta el análisis mecánico del suelo objeto de estudio en la cual se destacó la ausencia de esqueleto grueso (>2 mm). En la fracción fina, predominó la fracción limosa (55%), característico de las posiciones de napa de limo de desborde; que permitió pronosticar problemas físicos asociados al encostramiento, sellado y baja estabilidad estructural al superar

1967). The difference between the precipitation and the evapotranspiration was measured on the area's under research, later, were only considered the months where the precipitation was higher than the evaporation, generating positive data, thus, obtaining the infiltration calculus (table 3).

Statistical analysis

The determinations were done by triplicate and the data was analyzed using the variance analysis; once determined the statistical significance, it was proceeded to carry out the Tukey mean tests, using the statistical software Statistix v.9. (2009).

Results and discussion

Physical characterization of the soil

On table 4 is presented the mechanical analysis of the soil object to be researched, where highlighted the absence of a thick skeleton (>2 mm). In the fine fraction, the loamy fraction predominated (55%), characteristic of the overflow loam position; which allowed to diagnose the physical problems related to the encrusting, sealing and low structural stability to surpass the established limit (35%) for the condition of the soil handled in rainfed conditions (Pla, 1983).

Chemical characterization of the soil

On table 5 are observed the results of the chemical characterization of the soil prior the application of the amendments. It was a slightly basic soil with a 7.2 pH. The $CE_{1:2,5}$ in suspension reached the classic

Cuadro 3. Cálculo de la escorrentía e infiltración* para conocer el volumen de agua a utilizar.**Table 3. Calculus of the runoff and infiltration* to know the volume of water to be used.**

™ PPT en los meses donde ocurrió escorrentía	734,32 mm
™ EVTP en los meses donde ocurrió escorrentía	296,67 mm
Escorrentía	0,97
Infiltración	436,68 mm
Volumen por columna simulada de suelo	1,83 L
Volumen diario.tres meses ⁻¹	20,32 mL.d ⁻¹
Volumen aplicado cada tres días.tres meses	60,92 mL.3 dias ⁻¹

*Método del Número de Curva (USDA)

Suelo: Tipo A, Vegetación: Pastizales, Condición Hidrológica: Buenas, Forma de Explotación: C.

Infiltración= PPT-EVTP+Q (L.m⁻²)

$$\text{Infiltración} = \text{PPT} - (\text{EVTP} + \text{Q}) = 734,32 - (296,67 + 0,97) = 436,68$$

$$s = \left(\frac{25400}{\text{CN}} \right) - 254 = 3979,33$$

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} = 0,97$$

Donde:

S= Diferencia máxima potencial entre la lluvia caída y la escorrentía generada.

CN= Numero de curva.

Q= Escorrentía. Calculada por el Método del Número de Curva (USDA).

P= Precipitación (mm).

Cuadro 4. Caracterización física del suelo utilizado en la evaluación.**Table 4. Physical characterization of the soil used in the evaluation.**

Análisis mecánico			
% Arena	% Limo	% Arcilla	Clasificación textural
27,50	55,00	17,50	FL

el límite establecido (35%) para la condición de suelo manejado en condiciones de secano (Pla, 1983).

Caracterización química del suelo

En el cuadro 5 se pueden observar los resultados de la caracterización química del suelo, previo a la aplicación de las enmiendas. Se trató de un suelo ligeramente básico con un pH 7,2. La $CE_{1:2,5}$ en suspensión se acercó al límite clásico de $4,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para considerarlo como un suelo salino (USDA, 1954). En el extracto de saturación la CE_{extr} alcanzó los $12,46 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ que lo clasificaron como un suelo severamente salino (USDA, 1993). Sin embargo, las tendencias actuales al momento de clasificar los suelos en relación a la contaminación de sales toman en cuenta la relación de estos índices con la respuesta de los cultivos a este problema (Hoffman y Shano, 2007) más que los índices mismos de salinidad de los suelos.

La relación de bases intercambiables con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) determinada por el método de Acetato de Amonio a pH 7 (CIC_{AcNH_4}) y por la suma de bases intercambiables (CIC_e), caracterizaron este suelo como poco lavado al presentar valores de saturación mayores al 90%, que desde el punto de vista de fertilidad de suelos fue considerado como favorable (De la Rosa, 2008), a no ser por la alta relación que presentó el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) con valores de 14,8%, cercano al 15%, con la CIC_{AcNH_4} y la CIC_e superiores al límite para ser considerados como un salino-sódico (USDA, 1993).

El análisis cuantitativo de aniones y cationes (cuadro 4), permi-

limit of $4.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ to consider it as a saline soil (USDA, 1954). In the saturation extract, the CE_{extr} reached $12.46 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, classifying it as a severely saline soil (USDA, 1993). However, the current trends at the time of classifying the soils in relation to the contamination of salts consider the relation of these indexes with the response of the crops to this problem (Hoffman and Shano, 2007), more than the salinity indexes of soils.

The exchangeable base relation with the cation Exchange capacity (CIC) determined by the Ammonium acetate method at a pH of 7 (CIC_{AcNH_4}), and the sum of the exchangeable bases (CIC_e), characterized this soil as not so washy, since it presented saturation values higher than 90%, which from the fertility point of view was considered favorable (De la Rosa, 2008), unless otherwise the high relation that the exchangeable sodium percentage presented (PSI) with values of 14.8%, near to 15%, with the CIC_{AcNH_4} and CIC_e superior to the limit to be considered as saline-sodium (USDA, 1993).

The quantitative analysis of anions and cation (table 4), allowed observing that Cl^- along to Na^+ and Ca^{+2} were the anion and cation, respectively with more predominance, which proved that the osmotic effect of salts present were related to CaCl_2 and ClNa . The balance between cations and the total anions was favorable to the last ones and might anticipate the toxic effect to the plants.

Salinity parameters of the soil: CE_{ext} , RAS and PSI

On each of the sections of the simulated soil column, significant

Cuadro 5. Caracterización química del suelo utilizado en la evaluación.**Table 5. Chemical characterization of the soil used in the evaluation.**

pH (1:2)	CE 1:2 (dS.m ⁻¹)25°C	CE _{ext} 1:1	P Bray Cmol.kg ⁻¹	Elementos Intercambiables (cmol.kg ⁻¹ de suelo)					KCl Al ³⁺ Bases totales
				Ca ²⁺	Na ⁺	NH ₄ OAc	Mg ²⁺	K ⁺	
7,16±0,03	3,51±0,5	12,46 ±0,35	283±1,9	12,03±0,73	2,77±0,17	1,94±0,19	0,48±0,03	-	17,22
Aniones en extracto saturado (meq.L ⁻¹)									
Cationes en extracto saturado (meq.L ⁻¹)									
Aniones en extracto saturado (meq.L ⁻¹)									
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
18,7±0,61	17,2±0,28	92,08	100	14,8±0,12	6,08±0,27				
Cationes en extracto saturado (meq.L ⁻¹)									
Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cationes totales	CO ₃	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Aniones totales	RAS
61,71±6,8	36,17±1,4	8,37±1,0	106,71	-	5,0±1,22	107±44,99	5,52±1,14	117,52±46,68	6,20±0,1

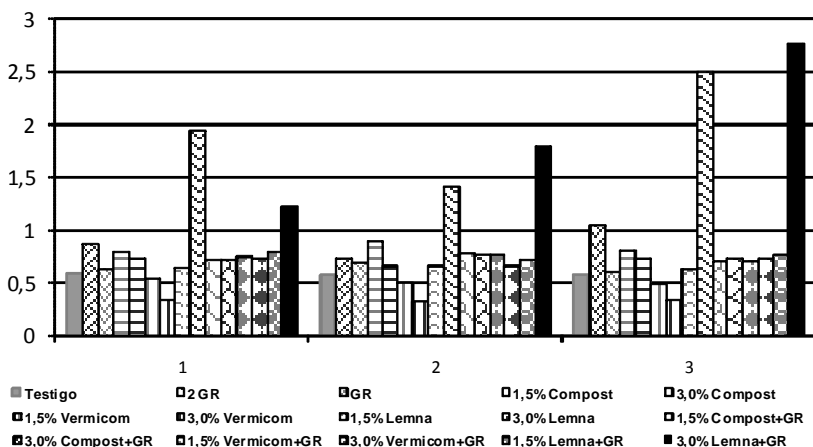
tió observar que el Cl⁻ junto al Na⁺ y Ca⁺² fueron el anión y cationes, respectivamente, que más predominaron, lo cual comprobó que el efecto osmótico de las sales presentes estuvieron asociadas al CaCl₂ y ClNa. El balance entre cationes y aniones totales fue favorable a éstos últimos y podría anticipar el efecto toxico a las plantas.

Parámetros de salinidad del suelo: CE_{ext.}, RAS y PSI

Dentro de cada una de las secciones de la columna simulada de suelo se registraron diferencias significativas (P<0,05) entre los tratamientos (figura 1), en donde se registró que la conductividad eléctrica (CE) más alta (1,94 dS.m⁻¹), se dio en aquellos con las dosis más altas de *Lemna* indistinta-

differences were registered (P<0.05) among the treatments (figure 1), where was registered that the highest electrical conductivity (CE) (1.94 dS.m⁻¹) occurred in those with the highest doses of *Lemna*, indistinctively the application of gypsum, the lowest values presented in the treatment of 3% of vermicompost. However, none differences presented among the three depths, therefore, for the rest of the variables, the relation of the sodium absorption (RAS), PSI and exchangeable and soluble salts were used per depth of each section of the column.

These results differ to the one of different authors (Khosla *et al.*, 1979; Wong *et al.*, 2009) which indicated



Dentro de cada profundidad letras diferentes difieren con una probabilidad del 0,05%, según la prueba de medias de Tukey.

Figura 1. Conductividad eléctrica según cada tratamiento a diferentes profundidades de la columna de suelos salino-sódicos enmendados con diferentes fuentes orgánicas.

Figure 1. Electrical conductivity according to each treatment at different depths of the sodium-saline soil columns amended with different organic sources.

mente de la aplicación de yeso, los menores valores se presentaron en el tratamiento de 3% de vermicompost. Sin embargo, no se presentaron diferencias entre las tres profundidades, por lo cual, para las demás variables, relación de adsorción de sodio (RAS), PSI, y sales intercambiables y solubles se utilizaron las medias ponderadas por profundidad de cada sección de la columna.

Estos resultados difirieron de varios autores (Khosla *et al.*, 1979; Wong *et al.*, 2009) los cuales indicaron que con el lavado de las sales, estas se acumularon en las capas más profundas, aumentando así la CE a medida que aumentó la profundidad.

Esto sugirió que el lixiviado ocurrió a través de los 20 cm de suelo de la columna, acumulándose las sales fuera del perfil y por lo tanto no se observaron las diferencias esperadas. Khosla *et al.* (1979) indicaron que se produjo un 80% de la salinidad del suelo con 0,4 cm de agua. cm^{-1} de profundidad de suelo. Es importante señalar que los tratamientos con *Lemna* fueron los que registraron los valores más altos de CE, estas fueron, aproximadamente, 22% más bajas que la CE inicial del suelo problema.

Se observó una reducción de 97,30% en la CE para el tratamiento de vermicompost al 3,0%, diferenciándose significativamente de la menor reducción (84%) para los tratamientos con *Lemna* al 3,0%; el tratamiento testigo no se diferenció del mayor porcentaje de reducción de CE con 95% (cuadro 6). Makoi y Verplancke (2010) evaluando diferentes métodos de la colocación de yeso, observaron la mayor reducción (52,5%) en la incorporación

that with the leaching of salts, these accumulated in the deepest layers, thus increasing the CE at the time that increased the depth.

This suggested that the leaching occurred within 20 cm of the column's soil, accumulating the salts out the profile, thus, none of the expected differences were observed. Khosla *et al.* (1979) indicated that 80% of the soil's salinity produced with 0.4 cm of water. cm^{-1} of the soil's depth. It is important to mention that the *Lemna* treatments were the ones that registered the highest values of CE, these were approximately 22% lower than the initial CE of the problematic soil.

A reduction of 97.30% in the CE for the vermicompost treatment at 3.0% was observed, with a significant difference of the lowest reduction (84%) for the treatments with *Lemna* at 3.0%; the witness treatment did not differentiate from the highest reduction percentage of CE with 95% (table 6). Makoi and Verplancke (2010), when evaluating different application methods of gypsum, observed the highest reduction (52.5%) in the incorporation inside the first 20 cm of the soil and, on the witness soil only 5.96%, only using natural rain for leaching of salts, therefore, it would be important to consider the application of water, besides the amendments.

This high content of Na^+ in the fresh amendment formed by *Lemna* allowed that in sodium-saline soils with CE, PSI and RAS of 12.46 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 15.77 and 6.20; respectively (table 4), when amended with this fresh substrate at 3% in fresh base, registered high

Cuadro 6. Reducción de CE_{extr} en el suelo de la columna simulada después de la enmienda orgánica.**Table 6. CE_{extr} reduction in the soil of the simulated column after the organic amendment.**

Tratamientos	CE_{extr} Reducido	% CE_{extr}
Testigo	11,88±0,02 ^{ab}	95,36±0,14 ^{ab}
2 GR	11,58±0,09 ^b	92,96±0,69 ^{ab}
GR	11,82±0,10 ^{ab}	94,85±0,82 ^{ab}
Compost 1,5%	11,62±0,02 ^{ab}	93,23±0,16 ^{ab}
Compost 3,0%	11,74±0,07 ^{ab}	94,24±0,54 ^{ab}
Vermicompost 1,5%	11,95±0,18 ^{ab}	95,89±1,41 ^{ab}
Vermicompost 3,0%	12,12±0,00 ^a	97,30±0,05 ^a
<i>Lemna</i> 1,5%	11,81±0,26 ^{ab}	94,76±2,07 ^{ab}
<i>Lemna</i> 3,0%	10,53±0,54 ^c	84,52±4,29 ^{bc}
Compost 1,5% + GR	11,72±0,05 ^{ab}	94,04±0,41 ^{ab}
Compost 3,0% + GR	11,70±0,01 ^{ab}	93,92±0,09 ^{ab}
Vermicompost 1,5% + GR	11,71±0,05 ^{ab}	93,99±0,42 ^{ab}
Vermicompost 3,0% + GR	11,75±0,02 ^{ab}	94,28±0,17 ^{ab}
<i>Lemna</i> 1,5% + GR	11,71±0,02 ^{ab}	94,00±0,19 ^{ab}
<i>Lemna</i> 3,0% + GR	10,52±0,15 ^c	84,40±5,79 ^c

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

dentro de los primeros 20 cm de suelo y en el suelo testigo apenas un 5,96%, usando solo las lluvias naturales para el lixiviado de sales, por lo que sería importante considerar la aplicación de agua, además de las enmiendas.

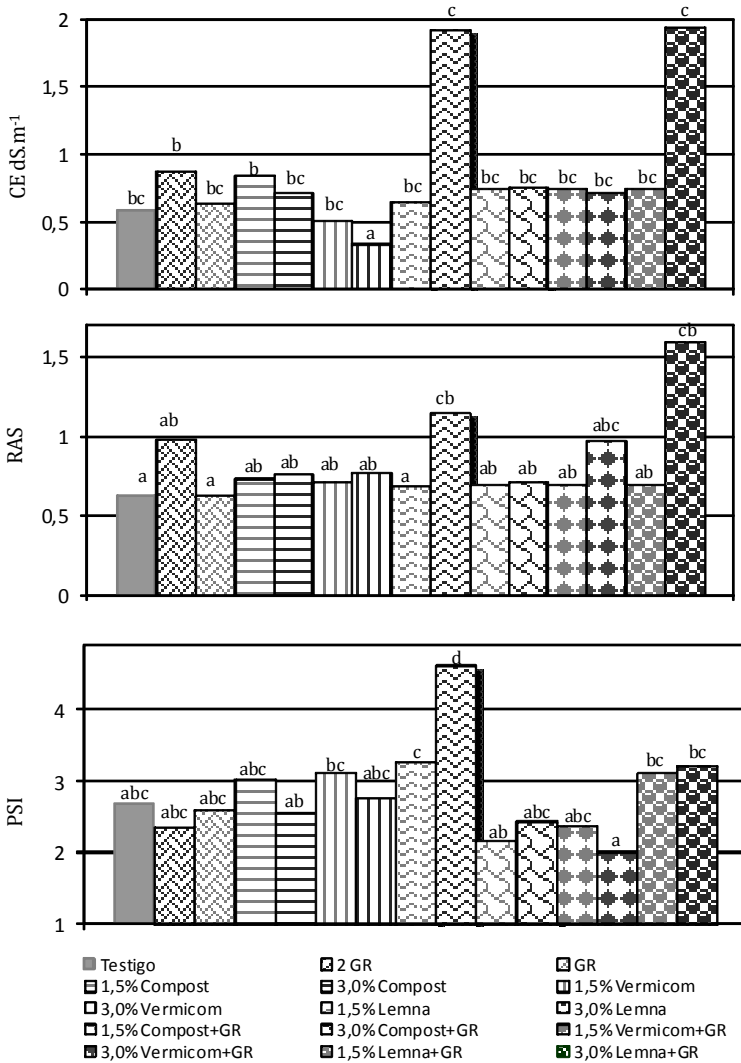
Este alto contenido de Na^+ en la enmienda fresca conformada por la *Lemna*, permitió que en los suelos salino sódico con una CE, PSI y RAS de 12,46 dS.m⁻¹, 15,77 y 6,20; respectivamente (cuadro 4), al ser enmendados con este sustrato fresco al 3% en base seca, se registraron altos valores de estos parámetros en relación al testigo el cual no recibió ninguna enmienda (figura 2).

Jalali y Ranjbar (2009) señalaron que la CE se incrementó por 163, 103

values of these parameters in relation to the witness, which did not receive any amendment (figure 2).

Jalali and Ranjbar (2009) mentioned that CE increased in 163, 103 and 120% in response to the treatments with birds, sheep and gypsum, respectively, due to the high quantity of cation and anions of these substrates.

Wang *et al.* (2004) indicated that with the time of the compost the bio manure tended to increase the CE, reaching until materials with more than 20 dS.m⁻¹. The cattle dung presented a high quantity of salts, and the continuous incorporation to areas under crop might eventually make a



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

Figura 2. Propiedades del suelo del perfil de la columna. Conductividad eléctrica (CE), relación de absorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Figure 2. Soil properties of the column profile. Electrical conductivity (CE), relation of the sodium absorption (RAS) and exchangeable sodium percentage (PSI).

y 120% en respuesta a los tratamientos de estiércol de aves, de oveja y yeso, respectivamente, debido a la alta cantidad de cationes y aniones de estos sustratos.

Wang *et al.* (2004) indicaron que con el tiempo de compostaje el bio abono tendió a incrementar la CE, pudiendo llegar hasta materiales con más de 20 dS.m⁻¹. Los estiércoles del ganado presentaron una elevada cantidad de sales y la incorporación continua a áreas bajo cultivo podría eventualmente evolucionar a suelos salinos (Hao y Chang, 2001; Jiménez *et al.*, 2004) afectando el desarrollo de las plantas. Como lo señalaron Gascó y Lobo (2007) que en la regulación de los materiales orgánicos no solo se debió tomar en cuenta el contenido de metales pesados, sino también el contenido de sales.

Jalali y Ranjbar (2009) encontraron una reducción significativa en el suelo del PSI con el tratamiento con materia orgánica señalando que se debió a que la enmienda orgánica favoreció la lixiviación de Na⁺. Tejada *et al.* (2006) observaron una disminución constante y marcada del PSI a lo largo de cinco años de evaluación por la aplicación de materia orgánica.

No todo los restos frescos pueden ser utilizados en la biorrecuperación, Tejada *et al.* (2008) al usar vinaza de remolacha fresca observaron que las propiedades físicas, químicas y biológicas se deterioraron a pesar del alto contenido de materia orgánica en el suelo, posiblemente debido a los altos contenidos del catión monovalente Na⁺. Esta consideración debe tomarse en cuenta con el uso de la *Lemna* la cual tiene altos contenidos de Na⁺ (560 mg.kg⁻¹).

progress in the development of the plants. As mentioned by Gascó and Lobo (2007), in the regulation of the organic materials should not have only considered the content of heavy metals but also the content of salts.

Jalali and Ranjbar (2009) found a significant reduction in the soil of the PSI with the treatment with organic matter, mentioning that it was due to the organic amendment favored the leaching of Na⁺. Tejada *et al.* (2006) observed a constant and marked reduction of the PSI throughout the five years of evaluation by the application of the organic matter.

Not all the fresh leftovers can be used in the bioremediation. Tejada *et al.* (2008) when using fresh beet vinasse observed that the physical, chemical and biological properties perished in spite of the high content of organic matter in the soil, maybe due to the high content of monovalent cation Na⁺. This must be taken into account with the use of *Lemna*, which has high contents of Na⁺ (560 mg.kg⁻¹).

The risk of using fresh materials might possibly be sources of pathogens and heavy metals, in any case the use of fresh material was recommended for the bioremediation, and alternatively the compost is a recommended biofertilizer since in the elaboration process these potential pathogens are eliminated before amending the soil (Pascual *et al.*, 1999).

For an adequate remediation, the leaching of salt is not enough to reduce the CE and RAS, it is necessary that this leaching is accompanied by amendments with gypsum so the Na⁺ is replaced from the exchangeable areas, thus reducing the PSI and the

El riesgo de utilizar materiales frescos podría ser posiblemente fuentes de patógenos y metales pesados, en ningún caso el uso de solo materiales frescos fue recomendado para la biorrecuperación, alternativamente el compost es un biofertilizante recomendado ya que en el proceso de elaboración se eliminan estos patógenos potenciales antes de enmendar el suelo (Pascual *et al.*, 1999).

Para una adecuada remediación no es suficiente el lavado de sales para bajar la CE y el RAS, hace falta que este lavado este acompañado de enmiendas con yeso para que el Na^+ sea remplazado de los sitios de intercambio y así disminuir el PSI y el riesgo potencial que un suelo salino se convierta en un suelo sódico (Khosla *et al.*, 1979).

Conclusiones

El suelo salino-sódico en estudio fue recuperado del problema de salinidad ya que las variables conductividad eléctrica, relación de absorción de sodio y el porcentaje de sodio intercambiable disminuyeron en más de un 80%, donde los valores más bajos registrados fueron de 0,33 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ de CE, 2,02 de RAS y 0,6 de PSI.

No se registraron diferencias estadísticas entre las dosis de materia orgánica utilizadas, por lo que se recomendó el uso de las enmiendas orgánicas, compost y vermicompost, en proporciones de 1,5% para la biorrecuperación de suelos salino-sódicos.

potential risk that a saline soil becomes a sodium soil (Khosla *et al.*, 1979).

Conclusions

The sodium-saline soil under research was recovered from the salinity problem since the variables: electrical conductivity, relation of the sodium absorption and the exchangeable sodium percentage reduced in more than 80%, where the lowest values registered were of 0.33 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ of CE, 2.02 of RAS and 0.6 of PSI.

None statistical differences were registered between the doses of the organic matter used, therefore the use of organic amendments, compost and vermicompost were recommended in proportions of 1.5% for the bioremediation of sodium-saline soils.

End of english version

Literatura citada

- Arancon, N., C. Edwards, P. Bierman, J. Metzger, S. Lee, y Ch. Welch. 2003. Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries. *Pedobiologia* 47(5-6):731-735.
- Arancon, N., P. Galvis, y C. Edwards, 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. *Bioresource Technology* 96(10):1137-1142.
- Barcenás, J. 2010. Aplicación superficial de mezclas de vermicompost de estiércol bovino con cal dolomítica y fosfóreo para enmendar subsuelo de ultisoles. estudio en columnas simuladas de suelo. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos-Universidad Politécnica de Madrid. 157p.

- Bernal, M., J. Alburquerque R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100(22):5444-5453.
- Chirinos, J. 2007. Evaluación de la estabilidad de agregados de dos suelos de Masquefe como respuesta a diferentes dosis de material orgánico compostado. *Ciencia* 15(1):47-53.
- Clark, G., N. Dodgshun, P. Sale y C. Tang. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 39(11):2806-2817.
- De la Rosa, D. 2008. Evaluación agroecológica de suelos – para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi Prensa-Madrid. 404 p.
- Ercoli, E., J. Gálvez, M. Di Paola, J. Cantero, S. Videla y C. Medaura. 1999. Biorrecuperación de suelos altamente contaminados. Laboratorio de Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. Consultado en marzo de 2011: http://xsei.centrogeo.org.mx/vedet/biblioteca/deg_tie/DT_BiorremedSoilAltaContami.pdf.
- Eweis, J., S. Ergas, D. Changy, E. Schroeder. 1999. Principios de biorrecuperación. McGraw-Hill, Madrid, España. 327 p.
- Gascó, G. y M. Lobo. 2007. Composition of a spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive trees. *Waste Management* 27(11):1494-1500.
- Grant, R.F. 1997. Changes in soil organic matter under different tillage and rotation: mathematical modelling in ecosys. *Soil Sci. Soc. Am.* 61:1159-1175.
- Haisheng, H., W. Wenjie, Z. Hong, Z. Yuangang, Z. Zhonghua, G. Yu, X. Huinan, y Y. Xingyang. 2008. Influences of addition of different krium in saline-sodic soil on the seed germination and growth of cabbage. *Acta Ecologica Sinica* 28(11):5338-5346.
- Hao, X. y Chi. Chang. 2001. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta?. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94(1):89-103.
- Hernández, J.A. 2012. Biorrecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. Tesis Doctoral - Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos - Departamento de Edafología. España. 145 p.
- Hoffman, G. y M. Shanno. 2007. Salinity. pp. 131-160. En: *Microirrigation for Crop Production*. F.R. Lamm, J.E. Ayars y F.S. Nakayama (Eds). Elsevier.
- Holdridge, L. 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science* 105(27):367-368.
- Jalali, M. y F. Ranjbar. 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma* 153(1-2):194-204.
- Jiménez, L., M. Larreal y N. Noguera. 2004. Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un Ultisol degradado en el área de la Machiques Colón, estado Zulia. *Rev. Fac. Agron (LUZ)*. 21(4):311-321.
- Khan, L., J. Gil y R. Acosta. 1998. Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial. *Bioagro* 10(1):11-18.
- Khosla, B., R. Gupta y I. Abrol. 1979. Salt leaching and the effect of gypsum application in a saline-sodic soil. *Agricultural Water Management* 2(3):193-202.
- Liu, J. y N. Hue. 2001. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime, and composts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32(13 y 14):2117-2132.
- López, J. y K. Mathinson. 1967. Correlación entre la evapotranspiración y la evaporación medida con diferentes instrumentos. II Jornadas Venezolanas de Riego. Caracas, p. 267-281.

- Makoi, J.H. y P. Ndakidemi. 2007. Reclamation of sodic soils in northern Tanzania, using locally available organic and inorganic resources. *African Journal of Biotechnology* 6(16):1926-1931.
- Makoi, J.H. 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(7):556-563.
- Marcotea, I., T. Hernández, C. García y A. Polo. 2001. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. *Biores. Technol.* 79(2):147-154.
- Mármol, L. 2010. Valorización de la lenteja de agua (*Lemna sp.*), y el estiércol ovino para su utilización en agricultura. Tesis Doctoral - Universidad Politécnica de Madrid - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos - Departamento de Edafología. España. 187 p.
- Méndez-Arocha, J. y J. Rojas. 1973. Los métodos más adecuados para estimar la evapotranspiración potencial en Venezuela. *Agronomía Tropical* 23(5):435-449.
- Muhammad, D. y R. Khattak. 2011. Wheat yield and chemical composition as influenced by Integrated use of gypsum, pressmud and FYM in saline-sodic soil. *J. Chem. Soc. Pak* 33(1):82-89.
- Padilla, O. 1964. Estudio de la evapotranspiración potencial mediante un lisímetro flotante. Servicio Shell para el agricultor. Cagua - Aragua. 49 pp
- Park, J., D. Lamb, P. Paneerselvam, G. Choppala, N. Bolan y J. Chung. 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 185(2-3):549-574.
- Pascual, J., C. García y T. Hernández. 1999. Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. *Bioresource Technology* 68(3):255-264.
- 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(13):1877-1883.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Alcanje de la Facultad de Agronomía-UCV*. No. 32, 91 p.
- Sahin, U., S. Erođlu y F. Sahin. 2011. Microbial application with gypsum increases the saturated hydraulic conductivity of saline-sodic soils. *Applied Soil Ecology* 48(2):247-250.
- Sebastian, S., C. Udayasoorian, R. Jayabalakrishnan y E. Parameswar. 2009. Performance of sugarcane varieties under organic amendments with poor quality irrigation water. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3(3):1674-1684.
- 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(9):1908-1916.
- Statistix V 8.0. 2009. Statistix Analytical Software, Version 9.0.
- Tejada, M., C. García, J. González y M. Hernández. 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38(6):1413-1421.
- Tejada, M., J. González, A. García-Martínez y J. Parrado. 2008. Application of a green manure and green manure composted with beet vinasse on soil restoration: Effects on soil properties. *Bioresource Technology*. 99(11):4949-4957.
- Trezza, R. 2008. Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela: ¿Cuál método utilizar?. *Bioagro* 20(2):89-95.

- 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.
- United State Department of Agriculture-USDA. 2010. Keys to soil taxonomy. U.S. Dep. Agric. Natural Resource Conservations Service. Tenth Edition. Washington, DC. USA.331 p.
- Wang, P., C. Changa, M. Watson, W. Dick, Y. Chen y H. Hoitink. 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry* 36(5):767-776.
- Wilheums, P., N. Noguera y G. Materano. 1990. Estudio detallado de suelos de la Hacienda Alto Viento. La Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Edafología. 19 p.
- 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(1):29-40.