

USO DE ACONDICIONADORES ORGÁNICOS Y BIOPOLÍMEROS PARA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS SALINOS-SÓDICOS DE LA LLANURA DE CORO, FALCÓN, VENEZUELA*

Use of organic conditioner and biopolymers in biorremedy of saline-sodic soils of Coro plain, Falcon, Venezuela

Duilio Torres¹, José Pastor Mogollón², Yarlyeny Lázaro², Marianela González³, Miklas López² y Héctor Yendís²

RESUMEN

Para evaluar el efecto de acondicionadores orgánicos y biopolímeros sobre las propiedades químicas y biológicas de un suelo salino-sódico del Cebollal de Coro, se consideraron seis tratamientos: sin aplicación de acondicionador (T1), extracto de cardón dato (*Stenocereus griseus* (Haworth) Buxb) (T2), extracto de Tuna España (*Opuntia ficus-indica*) (T3), vermicompost (T4) y los biopolímeros biosol (T5) y desalt (T6). Los acondicionadores fueron aplicados al suelo en forma líquida a una concentración de 20 g L⁻¹ y el suelo se incubó durante 45 días, con mediciones de respiración basal, pH, conductividad eléctrica, cationes cambiables y porcentaje de sodio intercambiable a los 7; 15; 30 y 45 días. Los resultados encontrados mostraron una disminución de los valores de conductividad eléctrica y sodio intercambiable con relación a los valores iniciales en el suelo, así mismo, se encontró que la respiración basal se incrementó de manera significativa, lo cual indica una recuperación integral del suelo. Los tratamientos más eficientes en la reducción de la conductividad eléctrica fueron T3 y T5 con valores de 1,47 y 1,44 dS m⁻¹, respectivamente; mientras que los valores más altos de carbono orgánico se registraron para los tratamiento T2, T3 y T4, los cuales presentaron valores de 22,40; 17,89 y 15,55 g kg⁻¹, respectivamente. Se observó correlación (P<0,05) negativa entre la conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica (r= -0,46); asimismo se encontró una asociación negativa entre contenido de materia orgánica y el sodio intercambiable (r =-0,65), y positiva entre la materia orgánica y el índice de remoción de sodio, lo cual indica que el incremento de la materia orgánica contribuye a la reducción de los contenidos de sales y de sodio en el suelo.

Palabras clave: acondicionadores, salinidad, actividad biológica.

ABSTRACT

To evaluate the effect of organic and biopolymers conditioners on chemical and biological properties a soil sodium-salt from Cebollal of Coro, six treatments were considered: without application of conditioner (T1), cactus data (*Stenocereus griseus* (Haworth) Buxb) extract (T2), Spain Tuna (*Opuntia ficus-indica*) extract (T3), vermicompost (T4), biopolymers biosol (T5) and desalt (T6). Conditioners were applied to the soil in liquid form at a concentration of 20 g L⁻¹, and the soil was incubated for 45 days with measurements of basal respiration, pH, electrical conductivity, exchangeable cations and exchangeable sodium percentage at 7, 15, 30 and 45 days. The results showed a decrease in the values of electrical conductivity and exchangeable sodium in relation to baseline values on the ground. Also, it found that basal respiration

(*) Recibido: 23-01-2015

Aceptado: 10-06-2015

¹ Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" UCLA, Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Suelos, Cabudare-Lara. Venezuela. Apartado postal 400. duiliotorres@ucla.edu.ve

² Facultad de Agronomía. Universidad Francisco de Miranda (UNEFM). Complejo Docente El Hatillo. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola.

³ Facultad de Agronomía. Universidad Francisco de Miranda (UNEFM). Complejo Docente El Hatillo. departamento de Producción y Desarrollo Agrícola.

increased significantly, indicating a comprehensive reclamation of the soil. The most efficient treatments in reducing the electrical conductivity were T3 and T5 with values of 1.47 and 1.44 dS m⁻¹, respectively; meanwhile higher values of organic carbon were recorded for T2, T3 and T4 treatments, which showed values of 22.40, 17.89 and 15.55 g kg⁻¹, respectively. A negative correlation ($P < 0.05$) was observed between electrical conductivity and organic matter content ($r = -0.46$); Likewise, a negative association between organic matter content and exchangeable sodium ($r = -0.65$), and positive between the organic matter and the rate of removal of sodium, indicating that the increase of organic matter contributes to the reduction of salts and sodium contents in the soil.

Key words: conditioners, salinity, biological activity.

INTRODUCCIÓN

Una de las formas de contaminación de los suelos se relaciona con procesos de empobrecimiento como la desertificación, la erosión y la salinización; este último consiste en la acumulación de sales en la capa arable del suelo, las cuales causan efectos negativos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas (Torres *et al.* 2006; Mogollón *et al.* 2010). Las áreas de suelo degradadas por problemas de sales y sodio están ampliamente distribuidas en el mundo; pero son de mayor importancia para el hombre, las ubicadas en las zonas áridas y semiáridas que se han abierto a la agricultura intensiva.

Particularmente en la zona semiárida del estado Falcón, se ha observado en los últimos años un proceso de degradación continua de la tierra, debido a la predominancia de sistemas agrícolas inapropiados que han conllevado a desertificación. Uno de los principales problemas es la salinización y sodificación de los suelos, los cuales han sido ocasionados por agotamiento de los acuíferos y uso excesivo de fertilizantes. Esta situación ha propiciado la degradación de las tierras agrícolas al punto tal que Machado *et al.* (1990) reportaron un descenso drástico en el número de fincas en producción en el sector El Cebollal. En este sentido, Rodríguez y Florentino (2004), Torres *et al.* (2006) y Rodríguez *et al.* (2009) señalaron los procesos de salinización, degradación física de suelo y calidad de agua para riego como los principales problemas de la zona.

Para recuperar suelos que han sido degradados por procesos antrópicos, se han propuesto alternativas de explotación sostenible, las cuales

están centradas en el aprovechamiento de los recursos autóctonos. Entre estas alternativas se propone la elaboración de abonos orgánicos, cuyo uso promueva la recuperación de la fertilidad y propiedades físicas. Celis *et al.* (2013) señalaron que el uso de compost, biofertilizantes y acondicionadores de suelo mejoran la producción agrícola en suelos salinos y sódicos, dado que suplen los cationes presentes en el suelo, y disminuyen la biodisponibilidad de metales pesados y la salinidad del suelo (De Varennes *et al.* 2006). Entre los principales reguladores de la acción de los acondicionadores orgánicos están los derivados radicales que incrementan la actividad biológica en la rizósfera.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la eficiencia de tres acondicionadores orgánicos (tuna España, cardón dato y vermicompost) y dos biopolímeros (biosol y desalt) para la biorremediación de suelos salinos-sódicos en la llanura de Coro, estado Falcón, en función de su capacidad para la disminución del contenido de sales, sodio y pH en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue llevado con suelos provenientes de la serie “El Patillal”, sector “El Cebollal” en la planicie de Coro, municipio Miranda, estado Falcón. Se tomaron muestras de suelo del horizonte superficial (0-25 cm) de la finca Santa María, la cual se encuentra ubicada en las coordenadas UTM 412.680 m E y 1.256.104 m N.

La zona de vida corresponde a monte espinoso tropical según Ewel *et al.* (1976); presenta

precipitación media anual de 450 mm, evaporación de 3.200 mm de promedio anual, temperatura de 27,7 °C, humedad relativa de 74 % y velocidad del viento de 17,4 km/hora en promedio.

Los suelos se caracterizan por presentar texturas medias y por un desarrollo estructural calificado de débil a moderado. El drenaje interno y externo es de moderado a rápido; permeabilidad moderada a muy alta y pH neutro a moderadamente alcalino, fertilidad baja y en general presentan problemas de erosión y de salinidad moderada. Los suelos fueron clasificados como Typic Haplargids, franco fino, mixto, isohipertérmico (González y Strebins 1971).

Se condujo un ensayo utilizando un diseño experimental completamente aleatorizado. Se evaluaron seis tratamientos: suelo sin aplicación de acondicionador (T1), extracto de cardón dato (*Stenocereus griseus* (Haworth) Buxb) (T2), extracto de Tuna España (*Opuntia ficus-indica*) (T3), vermicompost (T4) y los biopolímeros biosol (T5) y desalt (T6). Los acondicionadores fueron aplicados al suelo en forma líquida a una concentración de 20 g·L⁻¹ y el suelo se incubó durante un período de 45 días, con mediciones a los 7; 15; 30 y 45 días. En total se establecieron 18 unidades experimentales por cada tratamiento para un total de 72 unidades experimentales en todo el ensayo. En cada fecha de medición fueron extraídas 3 unidades experimentales por tratamiento a las cuales fueron determinadas cada una de las variables evaluadas en el ensayo.

Para la preparación de los extractos se colectaron arborescencias de cardón dato y tuna España, los cuales se seleccionaron de plantas jóvenes con tejidos suculentos. Los extractos acuosos se prepararon a una concentración de 2000 g·L⁻¹, para ello se eliminó la corteza y se trituro el parénquima hasta tamaño de partículas muy finas (Henríquez *et al.* 2003). En el caso de los polímeros orgánicos comerciales biosol y desalt, se trabajó a una concentración de 20 g L⁻¹. Con respecto al vermicompost, para el compostaje se utilizó lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), el sustrato consistió de restos de alimentos, broza de café, pseudotallos de plátano y estiércol equino, los

cuales fueron previamente precompostados durante 20 días, y luego sometidos al vermicompostaje durante 60 días. Se aplicó al suelo en una proporción 10 % (p/p). Una vez obtenidos los extractos se saturaron los suelos con las soluciones preparadas en las concentraciones establecidas.

La unidad experimental constó de un recipiente de plástico con 100 g de la mezcla suelo y acondicionador. Estos recipientes fueron colocados en una incubadora marca Ohaus con capacidad de 45 L, la cual estuvo a una temperatura constante de 28 °C, y a un nivel de humedad ajustada a 80% de la capacidad de campo. Para asegurar esta condición, se efectuaron pesajes cada 4 días para reponer el peso perdido con aplicación de agua destilada.

Las variables evaluadas fueron contenido de bases intercambiables (Ca, Mg y K) siguiendo la metodología de rutina usada por el laboratorio de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (UCV 1993). El pH fue medido por el método potenciométrico en relación agua: suelo (2:1), el carbono orgánico fue medido por el método de Walkley y Black (1934). La determinación de la respiración basal se realizó mediante la utilización de una trampa de álcali y titulación con HCl 0,1 N en presencia del indicador fenolftaleína (Anderson 1978; Rivero y Paolini 1995).

Se aplicó Análisis de varianza de una vía para cada fecha de muestreo. Cuando fue procedente, se realizó la prueba de comparaciones de medias múltiples de Tukey. La determinación de la correlación entre los atributos químicos y biológicos se realizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de los acondicionadores de suelo causó disminución de los valores de conductividad eléctrica con respecto a las condiciones iniciales de incubación (Tabla 1), sin embargo estos valores siguen siendo altos para el desarrollo de la mayoría de los cultivos.

Tabla 1. Conductividad eléctrica de suelos de la llanura de Coro en cuatro épocas de incubación.

Tratamiento	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)			
	7 días	15 días	30 días	45 días
T1	1,72 a	1,68 a	1,70 a	1,69 a
T2	1,51 ab	1,38 b	1,35 b	1,24 b
T3	1,26 b	1,46 b	1,44 b	1,47 b
T4	1,10 b	1,58 b	1,33 b	1,45 b
T5	1,61 a	1,42 b	1,55 b	1,40 b
T6	1,56 ab	1,38 b	1,50 b	1,34 b

Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación (P <0,05).

Para el día 7, los tratamientos que causaron mayor (P<0,05) reducción de la conductividad eléctrica fueron los acondicionadores vermicompost y extracto de tuna España con valores de 1,10 y 1,26 dS·m⁻¹, respectivamente. Para los días 15; 30 y 45 todos los acondicionadores causaron reducción (P<0,05) de la conductividad eléctrica, los más eficientes fueron extracto de cardón dato y vermicompost para el día 30, y para el día 45 cardón dato y desalt.

Oliva *et al.* (2008) encontraron reducción de salinidad en suelos con aplicación de vermicompost o biopolímeros de alto peso molecular, lo cual está relacionado con la capacidad de los compuestos orgánicos para atrapar tanto moléculas complejas (Alves *et al.* 2012), como metales pesados (Jordao *et al.* 2002). También podrían estar involucrados factores bióticos, por ejemplo la presencia de micorrizas en el vermicompost (Feng *et al.* 2005). Las micorrizas necesitan carbohidratos para su metabolismo, lo cual induce una mayor acumulación de azúcares solubles en los tejidos de la raíz de las plantas hospederas, de esta manera se incrementa la tolerancia al estrés osmótico inducido por el NaCl en las plantas.

En la Tabla 2 se observa el pH del suelo durante las 4 fechas de monitoreo. A partir del día 15 de incubación se observó que la aplicación de

acondicionadores causó reducción significativa del pH con respecto al testigo (P<0,05); sin embargo para el día 45 se encontraron valores similares.

Los tratamientos que causaron mayor reducción de pH fueron cardon dato y biosol. La disminución de los valores de pH a lo largo del tiempo puede estar relacionado con una mayor cantidad de iones hidronios disponibles, provenientes de la ionización de los diferentes radicales presentes en la materia orgánica del vermicompost (Durán y Henríquez 2009), así mismo la disminución del pH pudo ser causada por la generación de ácidos orgánicos producto de la mineralización de los sustratos orgánicos o por el proceso de nitrificación que toma lugar durante la mineralización de la materia orgánica incorporada (Lai *et al.* 1999; Azarmi *et al.* 2008).

Los valores de Na⁺ intercambiable se redujeron con la aplicación de acondicionadores y biopolímeros (P<0,05), los valores más bajos se encontraron con la aplicación de cardón dato, vermicompost, biosol y desalt a los 30 y 45 días de incubación (Tabla 3).

La reducción de la sodicidad del suelo por efecto de la aplicación del vermicompost puede ser producto del aporte continuo de Ca²⁺ y Mg²⁺. Estos cationes favorecen una sustitución del Na⁺ intercambiable de la matriz del suelo, lo cual además podría conllevar a la formación de

Tabla 2. pH de suelos de la llanura de Coro en cuatro épocas de incubación.

Tratamientos	Época de medición (días)			
	7 días	15 días	30 días	45 días
T1	7,7 a	7,6 a	7,6 a	7,70 a
T2	7,67 a	7,20 b	7,20 b	7,60 a
T3	7,63 a	7,37 b	7,33b	7,57 a
T4	7,80 a	7,30 b	7,23b	7,77 a
T5	7,77 a	7,20 b	7,20 b	7,70 a
T6	7,88 a	7,23 b	7,22 b	7,67 a

Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación (P<0,05).

agregados estables (Mahmoud e Ibrahim 2012). Por otra parte, se ha indicado que la aplicación de materia orgánica a suelos afectados por sales promueve la floculación de los minerales arcillosos; esto es una condición esencial para la agregación de las partículas de suelo, lo cual incrementa el espacio poroso y el proceso de lavado del Na^+ . Jalali y Ranjbar (2009) señalan que cuando las enmiendas orgánicas presentan altos contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} , se favorece un proceso de reemplazo del Na^+ de los sitios de intercambio, lo cual trae consigo disminución de sodio por efecto de lavado.

Andreau *et al.* (2012) señalan que la aplicación de abonos orgánicos al suelo, contribuye a mejorar la condición física y mantener el balance de materia orgánica en situaciones de altas tasas de mineralización, entre otros beneficios. Paralelamente, las enmiendas orgánicas con alto contenido de Ca^{2+} , podrían propiciar el reemplazo del Na^+ en el complejo de cambio, disminuye de esta manera el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la CE del suelo (Jalali y Ranjbar 2009).

El PSI muestra el grado con que el complejo de intercambio está saturado con sodio. En la Tabla 4 se observa que la aplicación de acondicionadores redujo ($P < 0,05$) los valores de sodio intercambiable en la última fecha de incubación; sin embargo, los valores de sodio intercambiable aun superan el valor

máximo permitido de sodio en el suelo (15%). Un alto contenido de sodio, favorece los procesos de deterioro físico del suelo como sellado, compactación y erosión.

La disminución en la sodicidad del suelo puede ser atribuida al incremento del contenido de materia orgánica producto de la aplicación de los acondicionadores, la cual puede solubilizar el calcio proveniente de los minerales del suelo, así como el calcio presente en el vermicompost (Choudhary *et al.* 2004). La lombriz roja californiana posee una estructura llamada glándula de Morren, la cual secreta carbonato cálcico y produce digestión alcalina, por lo que se esperan altos valores de calcio intercambiable (Ca^{2+}) en el humus de lombriz, de esta manera, luego de ser intercambiado con el calcio, el sodio puede ser lixiviado por el agua de irrigación junto con el exceso de sales.

En la Tabla 5 se observa que la aplicación de acondicionadores aumentó el contenido de calcio y magnesio. Para el día 30 biosol y desalt causaron incremento en el contenido de Ca, mientras que para el día 45 solo desalt incrementó el contenido de calcio. Con respecto al magnesio para el día 30 los valores de magnesio se encontraron en los tratamientos con biosol y cardon dato y a los 45 días los valores más altos de magnesio se encontraron en el tratamiento con vermicompost.

Tabla 3. Contenido de Na^+ intercambiable de suelos de la llanura de Coro en cuatro épocas de incubación.

Tratamientos	Na^+ intercambiable (mg kg^{-1})			
	7 días	15 días	30 días	45 días
T1	100,98 a	98,95 a	100,05 a	98,92 a
T2	81,76 b	39,83 b	27,31c	26,95 c
T3	96,05 a	57,21b	46,71 b	44,42 b
T4	69,72 c	48,11b	39,13c	38,57 c
T5	56,83c	42,73b	28,84 c	26,72 c
T6	76,17 b	52,35b	30,02 c	23,02 c

Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación ($P < 0,05$).

Tabla 4. Porcentaje de sodio intercambiable de suelos de la llanura de Coro en cuatro épocas de incubación.

Tratamientos	Época de medición (días)			
	7 días	15 días	30 días	45 días
T1	53,32 a	57,01 a	56,71 a	53,71 a
T2	37,31 b	32,61b	27,31b	18,09b
T3	53,56 a	52,25 a	50,69 a	43,81 b
T4	53,78 a	46,86 a	39,13 b	25,71b
T5	57,91 a	43,48 a	28,84 b	16,80 c
T6	53,92 a	42,36 a	34,36 b	25,04 b

Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación ($P < 0,05$).

Los resultados obtenidos coinciden por los reportados por Henríquez *et al.* (2003), quienes encontraron incremento en las bases cambiables luego de la aplicación de acondicionadores, que fue atribuido a la presencia de -NH_4^+ y -OH^- en la estructura molecular de los acondicionadores, los cuales al disociarse y unirse con cargas negativas, aumentan la capacidad de retener cationes por el suelo. Igualmente, Chen *et al.* (2004) reportaron que la disminución en la salinidad y la sodicidad es producto de la capacidad Buffer del suelo como consecuencia de incremento en el calcio intercambiable y alta capacidad de intercambio catiónico de los acondicionadores.

En la Tabla 6 se presenta el contenido de materia orgánica del suelo para los diferentes periodos de incubación de los suelos con acondicionadores orgánicos. Luego de 15 días de incubación el valor más alto de correspondió al tratamiento con tuna España, para 30 días los valores más altos de materia orgánica se registraron con los acondicionadores tuna España, vermicompost y desalt. Para el día 45 el valor más alto de materia orgánica se encontró con cardón dato. La materia orgánica se incrementó en 70 %, considerando el valor inicial de materia orgánica del suelo ($13,2 \text{ mg kg}^{-1}$).

Los suelos afectados por sales se caracterizan por presentar niveles bajos de carbono orgánico, como resultado del crecimiento pobre de las plantas; además, la descomposición de la materia orgánica del suelo puede ser afectada negativamente por factores como la salinidad (Setia *et al.* 2011).

En este sentido, se plantea el desarrollo de estrategias que incrementen el ingreso de carbono al suelo en zonas semiáridas, con el propósito de coadyuvar en los procesos de recuperación de suelos degradados (García-Lucas 2013). La utilización de enmiendas orgánicas representa una alternativa para secuestrar carbono en los suelos (Adani *et al.* 2009). Los acondicionadores orgánicos presentan un tipo de materia orgánica que contiene una fracción estable (recalcitrante) a la acción microbiana, que permitiría una acumulación de carbono en el suelo a través de su incorporación en las sustancias húmicas del suelo (Spaccini *et al.* 2002).

Los acondicionadores aplicados tuvieron un efecto significativo sobre la actividad biológica del suelo ($P < 0,05$). A los 7 y 15 días de incubación, la respiración fue más alta con vermicompost, a los 30 días el valor más alto ocurrió cuando se aplicó el biopolímero desalt, para todas las fechas los valores más bajos correspondieron al tratamiento con tuna España y el testigo (Figura 1). El incremento de la

Tabla 5. Contenido de bases intercambiables de suelos de la llanura de Coro en cuatro épocas de incubación.

Tratamientos	Calcio y magnesio intercambiables (mg kg^{-1})							
	7 días		15 días		30 días		45 días	
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
T1	16,42 b	31,56 b	13,07 b	28,77 b	10,40 b	34,52 b	10,42 b	34,03b
T2	27,63a	30,09 b	48,85 a	30,75b	15,25 b	40,72 a	13,82b	31,56 b
T3	21,38 a	33,54b	49,74 a	40,29 ab	12,31b	35,78 b	18,34b	36,99 b
T4	31,28 a	44,39 a	48,58 a	42,63 ab	14,74 b	36,72 b	20,13 ab	40,80 a
T5	15,27b	41,92 a	43,07a	58,61 a	18,25 a	41,70 a	17,47 b	38,91b
T6	18,32 b	33,33b	40,97 a	35,16 b	17,56 a	37,24 b	28,19 a	36,84b

Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación ($P < 0,05$).

Tabla 6. Contenido de materia orgánica de suelos de la llanura de Coro en diferentes épocas de incubación.

Tratamientos	contenido de materia orgánica (g kg^{-1})			
	7 días	15 días	30 días	45 días
T1	13,2 a	13,0 b	12,40 b	11,60 c
T2	13,7 a	14,9 b	15,90b	22,40 a
T3	13,7 a	18,2 a	17,40 a	17,80 ab
T4	13,6 a	16,5 b	16,70 a	15,55 b
T5	13,5 a	15,4 b	15,38 b	15,20 b
T6	13,3 a	15,6 b	16,02 a	14,85 b

Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación ($P < 0,05$).

respiración estuvo asociado con disminución de la conductividad eléctrica ($r = -0,39$).

Mogollón *et al.* (2001) y Mogollón (2014) al aplicar vermicompost a un suelo en el estado Falcón encontraron reducción en los valores de conductividad eléctrica y de la actividad biológica, se observó una correlación negativa entre la conductividad eléctrica, la respiración basal y la materia orgánica, lo que hace suponer que los microorganismos poseen mecanismos fisiológicos que reducen los niveles de sales y sodio intercambiable. La reducción del contenido de sales y de sodio puede deberse al efecto de los ácidos orgánicos de la materia orgánica o los exudados microbianos que reducen el pH, desplazan al sodio y los cationes básicos de la micela coloidal. En tal sentido, Villafañe *et al.* (1999) mencionan que en los suelos con alto contenido de sales, algunos mecanismos relacionados a la actividad biológica pueden promover la solubilización de cantidades importantes de carbonato de Ca y Mg, lo cual genera un descenso del pH de la solución del suelo.

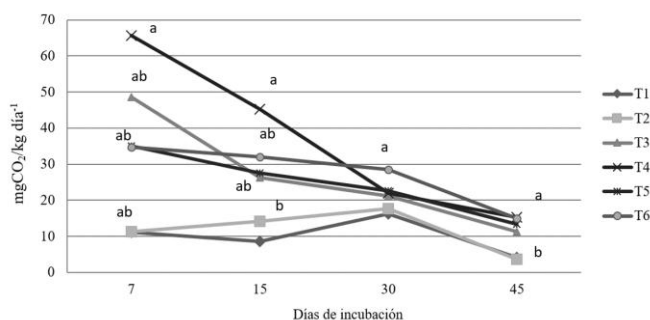


Figura 1. Respiración basal de suelos de la llanura de Coro en diferentes épocas de incubación. Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación ($P < 0,05$).

En la Tabla 7 se observa que el índice de eficiencia de remoción de sodio (IERS) a los 30 y 45 días los valores más altos ($P < 0,05$) fueron encontrados con cardón dato, biosol, desalt y vermicompost. A pesar de la eficiencia de los acondicionadores en la remoción del sodio presente en el suelo, los valores siguen siendo muy altos, por lo que deben evaluarse períodos más largos de incubación y dosis más altas de los

Tabla 7. Índice de eficiencia en la remoción de Sodio de suelos de la llanura de Coro en cuatro épocas de incubación.

Tratamientos	Época de medición			
	7 días	15 días	30 días	45 días
T1	NA	NA	NA	NA
T2	30,02 a	42,49 a	51,84 a	68,10 a
T3	5,50 b	7,86 b	10,61 b	22,14 b
T4	5,25 b	17,36 ab	30,99 a	54,66 a
T5	3,45 b	23,39 ab	49,14 a	70,37 a
T6	4,91 b	25,30 ab	39,41 a	55,84 a

Letras distintas indican diferencia entre los tratamientos para cada época de evaluación ($P < 0,05$). NA: no aplica, debido a que se refiere al testigo.

Tabla 8. Coeficiente de correlación de Pearson entre atributos químicos y biológicos de suelos de la llanura de Coro en cuatro épocas de incubación.

	pH	CE	MO	Na	PSI	IERS	Ca	Mg	C-CO ₂
pH	1,00								
CE	ns	1,00							
MO	ns	-0,46*	1,00						
Na	0,48*	0,48*	-0,65**	1,00					
PSI	ns	0,42*	-0,51**	0,76**	1,00				
IERS	ns	-0,44*	0,52**	-0,80**	-0,99**	1,00			
Ca	-0,39*	ns	ns	ns	ns	ns	1,00		
Mg	ns	ns	ns	-0,49**	ns	ns	ns	1,00	
C-CO ₂	ns	-0,39*	ns	ns	0,39*	ns	ns	ns	1,00

CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; Na: sodio intercambiable; PSI: Porcentaje sodio intercambiable; IERS: índice de eficiencia de remoción de sodio; Ca: calcio intercambiable; Mg: magnesio intercambiable; C-CO₂: respiración basal; ns: no significativo; *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

acondicionadores, así como la aplicación de prácticas agronómicas adicionales referidas a uso de cultivos tolerantes, nivelación de terrenos, lavado de sales y construcción de obras de drenaje interno y externo (Zérega 1993), para reducir el contenido de sodio por debajo de los niveles máximos permitidos.

Se encontró correlación (Tabla 8) entre conductividad eléctrica y materia orgánica ($P < 0,05$; $r = -0,26$), entre contenido de materia orgánica y de sodio intercambiable ($r = -0,65$), y entre contenido de materia orgánica y el índice de remoción de sodio ($r = 0,52$), lo que indica que el incremento de la materia orgánica contribuye a la reducción del contenido de sales y de sodio en el suelo. Estos resultados pueden ser explicados por la formación de enlaces entre las partículas de suelo con los ácidos orgánicos, los cuales mantienen en complejos las sales y los cationes básicos como el sodio.

CONCLUSIONES

La aplicación de los acondicionadores de suelo produjo una significativa disminución de los valores de conductividad eléctrica, contenido de Na^+ intercambiable y porcentaje de sodio intercambiable; el extracto de cardón dato y el biopolímero desalt fueron más eficientes en la reducción de la conductividad eléctrica.

Se observó un aumento de materia orgánica del suelo cuando se aplicaron los acondicionadores evaluados, los valores más altos ocurrieron con la aplicación de cardón dato y tuna España.

Se encontró correlación negativa entre la conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica en el suelo, entre contenido materia orgánica y contenido de sodio intercambiable y una correlación positiva entre materia orgánica y el índice de remoción de sodio, lo cual indica que el incremento de la materia orgánica en el suelo contribuye a la reducción de los contenidos de sales y sodio en el suelo.

El índice de eficiencia de remoción de sodio fue mayor con la aplicación del extracto de cardón dato y desalt al final del ensayo. Sin embargo el

porcentaje de sodio intercambiable aún se encuentra por encima de los valores máximos permitidos, lo cual afecta severamente la calidad física del suelo.

REFERENCIAS

- Adani, F., Tambone, F. and Genevini, P. 2009. Effect of compost application rate on carbon degradation and retention. *Soil Waste Management* 29: 174-179.
- Alves, N., Leonor, I. and Azevedo, H. 2012. Surfaces inducing biomineralization. *biomimetic approaches for Biomaterials Development*. Weinheim Wiley-VCH 333-351.
- Anderson, J. and Domsch, K. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10:215-221.
- Andreau, R., Gelati, P., Provaza, D., Bennardi, D., Fernández, D. y Vásquez, M. 2012. Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense. *Alternativas de tratamiento. Ciencia del Suelo (Argentina)* 30:107-117.
- Azarmi, R., Giglou, M. and Taleshmikail, D. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicon esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology* 7: 2397-2401.
- Celis, J., Sandoval, M., Martínez, B. and Quezada, C. 2013. Effect of organic and mineral amendments upon soil respiration and microbial biomass in a saline-sodic soil. *Ciencia e investigación agraria*, 40(3): 571-580.
- Chen, S., Zommodi, M., Fritz, E., Wang, S. and Huttermann, A. 2004. Hydrogel modified uptake of salt ions and calcium in *Populus euphratica* under saline conditions. *Trees: Structure and Function* 18(2): 175-183.
- Choudhary, O., Josan, A., Bajwa, M. and Kapur, M. 2004. Effect of sustained sodic and saline-sodic irrigation and application of gypsum and

- farmyard manure on yield and quality of sugarcane under semi-arid conditions. *Field Crop Res.* 87: 103-116.
- De Varennes, A., Goss, M. and Mourato, M. 2006. Remediation of a sandy soil contaminated with cadmium, nickel and zinc using an insoluble polyacrylate polymer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37: 1639-1649
- Durán, L. y Henríquez, C. 2009. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33:275-281.
- Ewel, J., Madriz, A. y Tosi, J. 1976. Zonas de Vida de Venezuela. Caracas: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 270 pp.
- Feng, G., Zhang, X., Li, C., Tian, C. and Tang, Z. 2005. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza* 12: 185-190.
- García-Lucas, E. 2013. Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono. Tesis Doctoral no publicada. Universidad de Murcia. Disponible: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/121594/TEGL.pdf?sequence=1> [Consulta: Octubre] 2013.345 pp
- González, P. y Strabins, W. 1971. Estudio Agrológico. Coro-Quebrada Cardón. Fudeco, Barquisimeto-Venezuela. 91 pp.
- Henríquez, M., Rodríguez, O., Montero, F. y Hernández, A. 2003. Efecto de acondicionadores naturales y sintéticos sobre los cationes solubles y la infiltración del agua en un Aridisol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38(2): 1-316
- Jalali, M. and Ranjbar, F. 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma* 153: 194-204.
- Jordao, C., Pereira, M., Einloft, R., Santana, M., Bellato, C. and Vargas De Mello, J. 2002. Removal of Cu, Cr, Ni, Zn and Cd from electroplating wastes and synthetic solutions by vermicompost of cattle manure. *Journal of Environmental Science Health* 37: 875-892.
- Lai, K., Ye, D. and Wong, W. 1999. Enzyme activities in a sandy soil amended with sewage sludge and coal fly ash. *Water Air Soil Pollut* 113:261-272.
- Machado, D., Navarro, F. y Medina, R. 1990. Evaluación del Uso de Tierras Agrícolas en el Área bajo riego de la Zona "El Cebollal" Estado Falcón. Trabajo Especial de Grado. UNEFM. 162 p.
- Mahmoud, E. and Ibrahim, M. 2012. Effect of vermicompost and its mixtures with water treatment residual on soil chemical properties and barley growth. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 12:431-440.
- Matson, P., Parton, W., Power, A. and Swift, M. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.
- Mogollón, J. 2014. Efecto del uso del vermicompost para la biorremediación de suelos salino-sódicos del estado Falcón. Trabajo de Grado para optar al título de Magister en Ciencias Ambientales. Universidad Yacambú. Barquisimeto, Lara. 146 Pp.
- Mogollón, J., Tremont, O. y Rodríguez, O. 2001. Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Venesuelos* 9:48-56.
- Mogollón, J. Torres, D. y Martínez, A. 2010. Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22:217-222.

- Oliva, M., Rincón, R., Zenteno, E., Pinto, A., Dendooven, L. y Gutiérrez, F. 2008. Rol del vermicompost frente al estrés por cloruro de sodio en el crecimiento y fotosíntesis en plántulas de tamarindo (*Tamarindus indica* L.). Gayana. Botánica 65(1): 10-17
- Rivero, C. y Paolini, J. 1995. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos sobre la evolución de CO₂ de dos suelos venezolanos. Revista Facultad de Agronomía LUZ 21:37-49.
- Rodríguez, N. y Florentino, A. 2004. Identificación de indicadores de sostenibilidad para los tipos de uso de la tierra en las series el Patillal y San Isidro de la llanura de Coro. CD ROM Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. Cartagena de Indias Colombia.
- Rodríguez, N., Florentino, A., Torres, D., Yendís, H. y Zamora, F. 2009. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado falcón. Rev. Fac. Argon. Luz 26(3):340-361.
- Setia, R., Marschner, P., Baldock, J., Chittleborough, D., Smith, P. and Smith, J. 2011. Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture. Soil Biology and Biochemistry 43:1908-1916.
- Spaccini, R., Piccolo, A., Conte, P., Haberhauer, G. and Gerzabek, M. 2002. Increase soil organic sequestration through hydrophobic protection by humic substances. Soil Biology and Biochemistry 34:1839-1851.
- Torres, D., Rodríguez, N., Yendís, H., Florentino, A. y Zamora, F. 2006. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón. Bioagro 18: 123-128.
- Universidad Central de Venezuela (UCV). 1993. Métodos de análisis de suelo y plantas utilizadas en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía N° 6. Facultad de Agronomía, UCV. 89 p.
- Villafañe, R., Abarca, O., Azpurúa, M., Ruiz, T. y Dugarte, J. 1999. Distribución espacial de la salinidad en los suelos de Quíbor y su relación con las limitaciones de drenaje y la calidad del agua. Bioagro 11 (2): 43-50.
- Walkley, A. y Black, A. 1934. An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed modification of the chromi acid titration method. Soil sci 37:29
- Zérega, M. 1993. Manejo y uso agronómico de la cañaza en suelos cañameleros. Caña de azúcar 11:1-13.