

Enmiendas orgánicas para la remediación de suelos salino-sódicos del Valle Alto de Cochabamba

Daniel Castellón Romero ¹; Demis Andrade Foronda ²

¹ Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias - Universidad Mayor de San Simón;

² Doctorante AI/ARES-UMSS

E mail: castellon.edson@gmail.com

Resumen. Los suelos afectados por sales, representan un problema crítico en términos productivos y ecológicos a escala nacional y global. El objetivo del estudio fue evaluar, con fines de remediación, el efecto de cuatro enmiendas orgánicas (biocarbón, turba subtropical, estiércol bovino y gallinaza), con dos niveles de aplicación (1% y 2%) en un suelo salino sódico del Valle Alto de Cochabamba. La evaluación se desarrolló en mace-tas bajo condiciones de lixiviación. Las enmiendas orgánicas fueron efectivas para reducir el PSI y la CE del suelo. Los niveles de aplicación no influyeron en el efecto sobre la CE y el pH. Para reducir el PSI inicial en >80%, la gallinaza fue más efectiva, seguida por el estiércol bovino y biocarbón en igual magnitud. Para reducir >60% de la CE, todos los tratamientos fueron igual de efectivos. El pH se redujo levemente con las enmiendas, excepto biocarbón. La evolución de los lixiviados fue consistente con el suelo remediado y reflejó reducciones marcadas en la CE y la RAS, con énfasis en el primer-segundo y segundo-tercer lixiviado, respectivamente; así como un leve incremento en el pH. El cultivo indicador, confirmó el efecto remediador en términos de sobrevivencia.

Palabras clave: Degradación y remediación de suelos; Salinidad; Sodicidad; Bioenmienda

Summary: Organic amendments for saline-sodic soil remediation in the High Valley of Cochabamba. Salt-affected soils represent a critical problem in productive and ecological terms on the national and global scale. The objective of the study was to evaluate, for remediation purposes, the effect of four organic amendments (biochar, subtropical peat, bovine manure and poultry manure) with two application levels (1 and 2%) on a saline-sodic soil from the High Valley of Cochabamba. The evaluation was carried out in pots under leaching conditions. Organic amendments were effective in reducing soil ESP and EC. Application levels did not influence the effect on EC and pH. To reduce initial PSI by >80%, poultry manure was the most effective, followed by bovine manure and biochar in equal magnitude. To reduce >60% of the EC, all treatments were equally effective. The pH decreased slightly with the amendments, except biochar. The evolution of leachates was consistent with the remediated soil and reflected marked reductions in the EC and SAR in the first-second and second-third leachate, respectively; as well as a slight increase in pH. The crop indicator confirmed the remediation effect in terms of survival.

Keywords: Soil degradation and remediation; Salinity; Sodicity; Bio-amendment

Introducción

Los suelos salinos y/o sódicos se caracterizan por el exceso de sales solubles y/o de sodio, y su gama de distribución a

nivel mundial es amplia (Farooq *et al.* 2017). En Bolivia el área con suelos afectados por sales afecta a más del 5.5 % del territorio (Hervé *et al.*, 2002).

Este tipo de degradación del suelo se origina principalmente como salinidad primaria debido a la concentración de sales en el material parental, o al ascenso de la capa freática; así como salinidad secundaria por intervención humana con técnicas de irrigación inapropiadas y fertilización, entre otros (Qadir & Schubert, 2002).

La aplicación de enmiendas orgánicas es una alternativa convencional para remediar los suelos salino-sódicos, como mejoradores de las propiedades físico-químicas del suelo, principalmente la estructura y conductividad hidráulica del mismo. El uso de enmiendas orgánicas, tales como estiércol bovino, gallinaza, compost y humus, entre otros, promueven el crecimiento de las plantas, gracias a sus efectos beneficiosos sobre las propiedades físicas, químicas, nutricionales, y biológicas del suelo; además de facilitar el lavado de sales en suelos salinos, salino-sódicos y sódicos, en armonía con el medio ambiente (Srivastava *et al.* 2016; Yaduvanshi y Swarup 2005; Oo *et al.* 2015).

La salinidad y sodicidad como degradación de suelos generan pérdidas considerables en términos de producción e ingresos para los agricultores, además del aspecto ecológico y ambiental en el Valle Alto de Cochabamba.

El objetivo del estudio fue: evaluar el efecto de la aplicación de cuatro enmiendas orgánicas: Biocarbón (BIO), turba subtropical (TUR), estiércol bovino (EST) y estiércol de aves de corral (GALL), con dos niveles de aplicación: 1% y 2%, sobre las variables de CE, PSI y pH de un suelo salino-sódico del Valle Alto de Cochabamba.

Materiales y métodos

El ensayo fue implementado en un invernadero del Centro Nacional de Producción de Semillas de Hortalizas (CNPSH) del INIAF, ubicado en la localidad de Montenegro, Municipio Quillacollo, Cochabamba (17°26'25.72" de latitud Sur, 66°20'44.0" de longitud Oeste).

El suelo objetivo se extrajo de la localidad de Santa Ana, Municipio de Punata del Valle Alto de Cochabamba (17°32'38.6" S, 65°51'41.9" O) a una profundidad de 15 cm, el mismo con las propiedades: textura franco limosa, densidad aparente (DA) = 1.4 g cm⁻³, materia orgánica (MO) = 1.2%, conductividad eléctrica (CE) = 16.21 dS m⁻¹, sodio intercambiable (PSI) = 68.06% y pH = 9.66.

El contenido de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺: 80.2, 6.2, 5.58 y 196 mg 100g⁻¹, respectivamente. Según la clasificación US Salinity Lab - NRCS, el suelo se clasificó como salino-sódico.

El suelo fue secado y tamizado a 2 mm, las enmiendas orgánicas (Cuadro 1) fueron secadas y tamizadas a 4 mm, cuyas dosis de 12 g y 24 g, se calcularon a partir de 1% y 2% de materia orgánica en suelo seco, respectivamente.

Cada maceta con un volumen efectivo de 930 cm³, fue adaptada en la base para conectar un recipiente colector de lixiviados. Se procedió con la mezcla de suelo + enmienda, para luego acomodar 1300 g de suelo o mezcla por maceta, simulando la DA de referencia, sobre una capa de 1 cm de gravilla de 4 mm.

Cuadro 1. Caracterización físico-química de las enmiendas orgánicas

Parámetro	Enmiendas orgánicas			
	Turba (TUR)	Biocarbón (BIO)	Estiércol bovino (EST)	Gallinaza (GALL)
pH	3.6	9.74	8.5	8.0
CE (dS.m ⁻¹)	0.72	1.03	3.75	5.48
MO (%)	22	13	47	34
Ca ²⁺ (%)	0.62	1.25	1.87	14.37
Mg ²⁺ (%)	0.75	0.75	1.88	3.38
K ⁺ (%)	0.0	0.0	1.25	0.4
Na ⁺ (%)	0.0	0.0	0.01	0.69
N (%)	13	4.6	12	17.66
P (%)	0.0	0.09	0.67	2.61

El volumen de poro (VP) para el lavado con agua se calculó de acuerdo con el protocolo utilizado por Ahmad *et al.* (2015). Se aplicó 0.75 VP como lavado inicial para incubar el suelo por 17 días, para luego realizar los lavados con un VP (390 ml) cada semana hasta obtener una CE constante. Las propiedades del agua fueron: pH = 7.12, CE = 0.23 dS m⁻¹, Ca²⁺ = 0.75 meq L⁻¹, Mg²⁺ = 0.75 meq L⁻¹ y Na⁺ = 1.24 meq L⁻¹.

Se colectaron los lixiviados posterior a cada lavado y se realizó el muestro de suelo luego del quinto lavado. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la FCAYP-UMSS según protocolos: pH y CE en dilución 1:5 con el equipo Oakton® PCD 650, la extracción para los cationes según Metson modificado, Ca²⁺ y Mg²⁺ por titulación y Na⁺ con el dispositivo Laqua Twin® Na-11. Se calculó el PSI en función a la fórmula propuesta por Hazelton y Murphy (2007):

$$PSI = \left(\frac{C_{Na^+}}{C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}} + C_{Na^+} + C_{K^+}} \right) 100$$

donde C es la concentración en cmol_c.kg⁻¹; y la relación de adsorción de sodio (RAS) (según Richards *et al.*, 1954):

$$RAS = \frac{C_{Na^+}}{\sqrt{(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}})/2}}$$

donde C es la concentración en mmol_c L⁻¹

El diseño experimental fue completo al azar (DCA) con arreglo bifactorial para tipo de enmienda: Estiércol (EST), gallinaza (GALL), turba (TUR) y biocarbón (BIO) y para dosis del 1% (50) y 2% (100). Se empleó el análisis de varianza bifactorial y la prueba de medias de Tukey, utilizando el software Minitab v18.1.y RStudio v1.1.463 (R Core Team 2019). Finalizado el experimento se validó el efecto de las enmiendas, con el cultivo indicador *Hordeum vulgare* (cebada).

Resultados y discusión

Suelo

El efecto de la interacción entre el tipo de enmienda y el nivel de aplicación en el suelo remediado fue significativo (p<0.05) para el PSI, no así para la CE y el pH del suelo. No se encontraron diferencias significativas entre enmiendas para el efecto sobre la CE, no obstante, la misma se redujo en más del 60% con cualquiera de las 4 enmiendas (Figura 1).

En cuanto al efecto sobre el pH del suelo remediado, los tratamientos turba, estiércol y gallinaza redujeron levemente el pH en igual magnitud; en cambio el biocarbón incrementó dicha variable de 9.66 a 9.75 (Figura 2); es probable debido al valor inicial de pH del biocarbón (9.74); en concordancia, García (2013), afirma que incrementos de pH se deben al tipo de enmienda o dosis aplicada.

Se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos (enmienda * dosis) para el efecto sobre el PSI del suelo, siendo la gallinaza al 50% y 100%, los mejores tratamientos para reducir el PSI en más del 48% con respecto al PSI inicial (68.06%); seguido por el estiércol y biocarbón con similar efecto entre dosis y con la GA100; la turba fue la menos efectiva (Figura 3).

La gallinaza fue más efectiva, probablemente por el Ca^{2+} aportado para desplazar el ión Na^+ y así reducir el PSI; al respecto Legros (2007) y Abdel-Fattah (2012), refieren la sustitución del Na^+ intercambiable y posterior formación / precipitación de la sal neutra Na_2SO_4 ; así mismo Walker y Bernal (2008), aseveran que las enmiendas orgánicas con alto contenido de Ca^{2+} favorecen el reemplazo del Na^+ en el complejo intercambiable, disminuyendo el PSI y la CE del suelo.

Adicionalmente los resultados son congruentes con lo hallado por Hurtado (2019). La baja efectividad de la turba, probablemente se debe a su alta capacidad de retención de agua, agravando la baja permeabilidad del suelo, generada por la sodicidad.

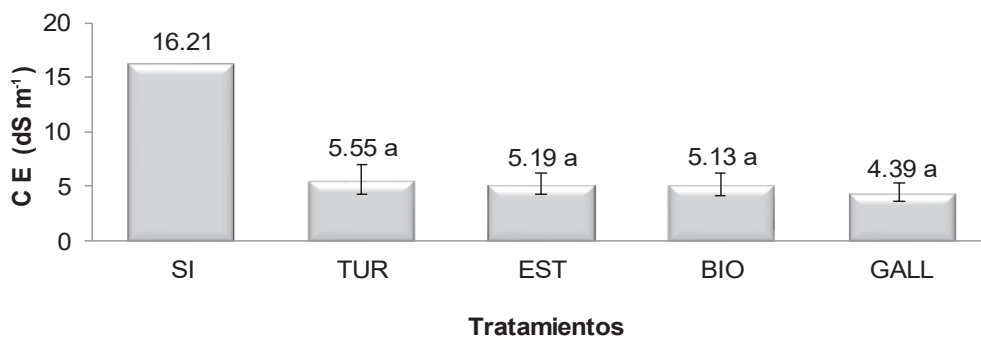


Figura 1. Efecto del tipo de enmienda sobre la CE del suelo (Tukey $p < 0.05$)

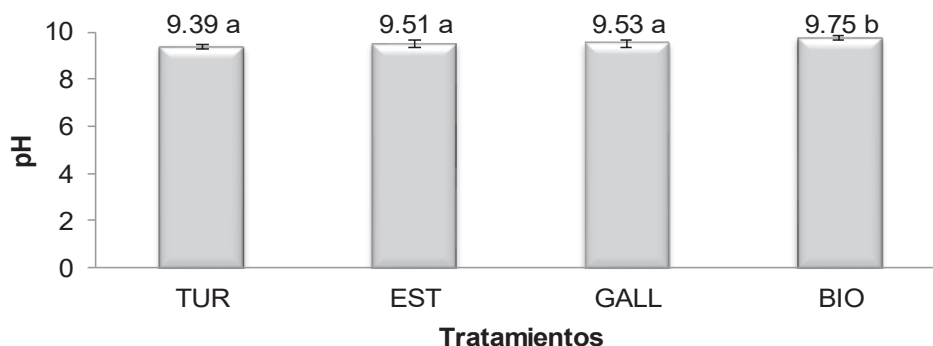


Figura 2. Efecto del tipo de enmienda sobre el pH del suelo (Tukey $p < 0.05$)

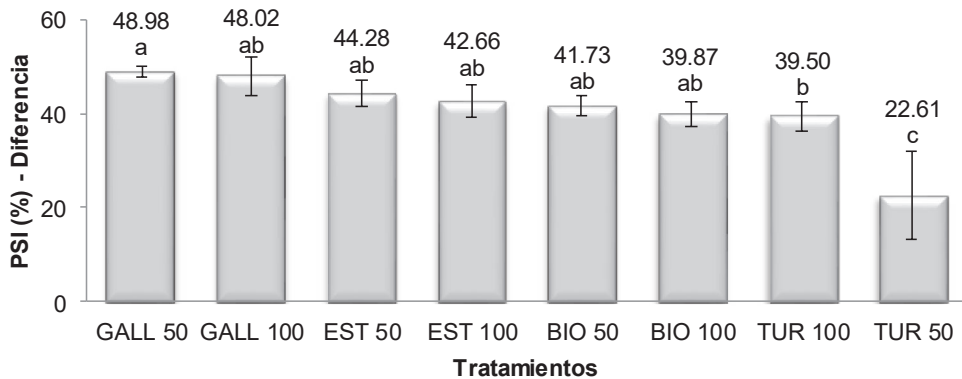


Figura 3. Efecto del tratamiento (enmienda * dosis) sobre el PSI del suelo (inicial - final) (Tukey $p < 0.05$)

Lixiviado

La Figura 4 (a, b y c), refleja la evolución de los parámetros pH, CE y RAS, en los lixiviados colectados de 5 lavados en un periodo de 44 días.

En general, la evolución del pH, CE y RAS, es consistente con los valores de las variables correspondientes en el suelo remediado.

La evolución de la RAS tiene una tendencia similar a la CE, con una reducción significativa entre el segundo y tercer lixiviado (Figura 4c), lo cual puede deberse al tiempo requerido para consolidar la estructura del suelo y para la reacción química que desplaza el Na^+ a través del Ca^{2+} .

Lo anterior también explicaría el mayor efecto del estiércol y la gallinaza para reducir la RAS en comparación con el biocarbón, en función al aporte de Ca^{2+} .

La evolución de la CE en el lixiviado presentó una tendencia de reducción para todos los tratamientos, con énfasis entre el primer y segundo lixiviado (Figura 4b); esto se puede explicar por la alta

solubilidad de las sales en el suelo. El incremento de CE para el quinto lavado es probable se deba a la disminución en la permeabilidad de la superficie del suelo.

Se aprecia una tendencia general del incremento moderado del pH en el lixiviado para todos los tratamientos (Figura 4a). Las diferencias en el pH se deben probablemente al pH inicial de las enmiendas (Cuadro 1).

No obstante, los tratamientos fueron efectivos para reducir los valores de PSI y CE, en concordancia con lo hallado por Sastre-Conde *et al.* (2015), Guo *et al.* (2019), y David y Dimitrios (2002); les faltó un mínimo para alcanzar los valores umbrales de la clasificación referencial del *US Salinity Lab*.

Los resultados coinciden con Chaganti y Crohn (2015) y Chaganti (2014), que confirman la efectividad de las enmiendas orgánicas y el hecho que el efecto del biocarbón es solo físico-químico, en cambio los abonos y estiércoles generan un efecto físico-químico-biológico.

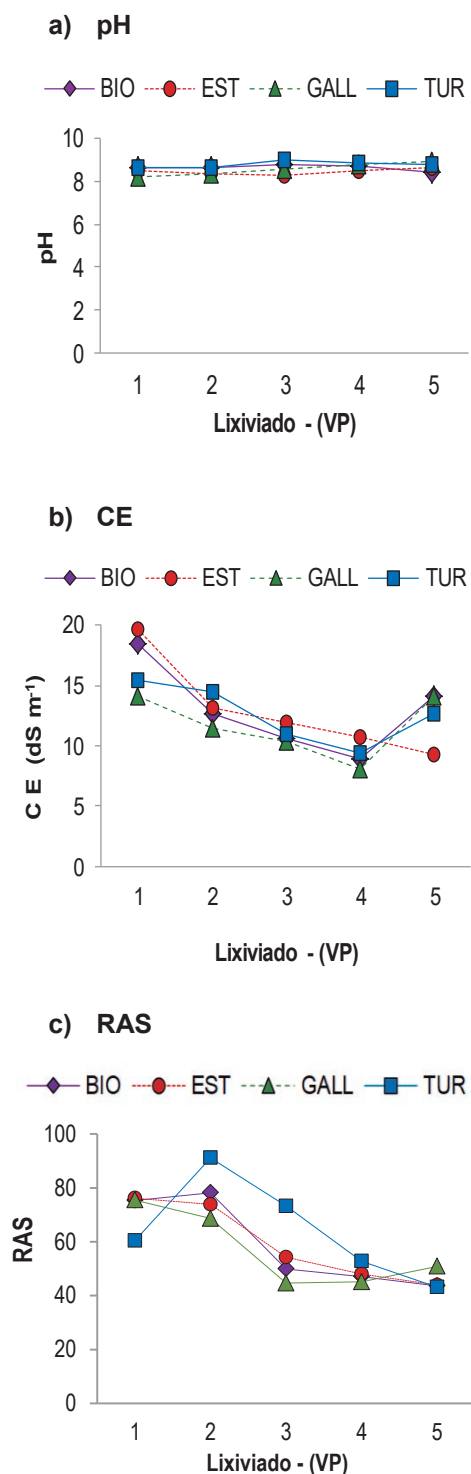


Figura 4. Evolución del pH (a), CE (b) y RAS (c) en los lixiviados, por tipo de enmienda

Cultivo indicador

El cultivo indicador (*Hordeum vulgare*), tuvo una sobrevivencia limitada que se mantuvo para todas las plantas hasta el término del primer mes de crecimiento; posteriormente las plantas sucumbieron, con mayor incidencia a partir de la sexta semana, excepto para el tratamiento con estiércol (Figura 5).

Conclusiones

- Las enmiendas orgánicas fueron efectivas para reducir el PSI y la CE del suelo. Los niveles de aplicación no fueron significativos para la CE y el pH.
- Para reducir el PSI en >80%, la gallinaza fue más efectiva, seguida del estiércol y biocarbón en igual magnitud. Para reducir la CE en >60% todos los tratamientos fueron igual de efectivos. Asimismo, los valores de pH se redujeron levemente con todas las enmiendas, excepto el biocarbón.
- La evolución de los lixiviados, en consistencia con el suelo remediado, reflejó reducciones marcadas en la CE y la RAS, principalmente entre el primer-segundo y segundo-tercer lixiviado, respectivamente; así como un leve incremento en el pH.
- El cultivo indicador, en términos generales, confirmó el efecto remedificador de las enmiendas.

Agradecimiento

Al Programa AI ARES Bélgica - UMSS, al Laboratorio de Suelos (FCAYP-UMSS) y a CISTEL (FCAYP-UMSS)

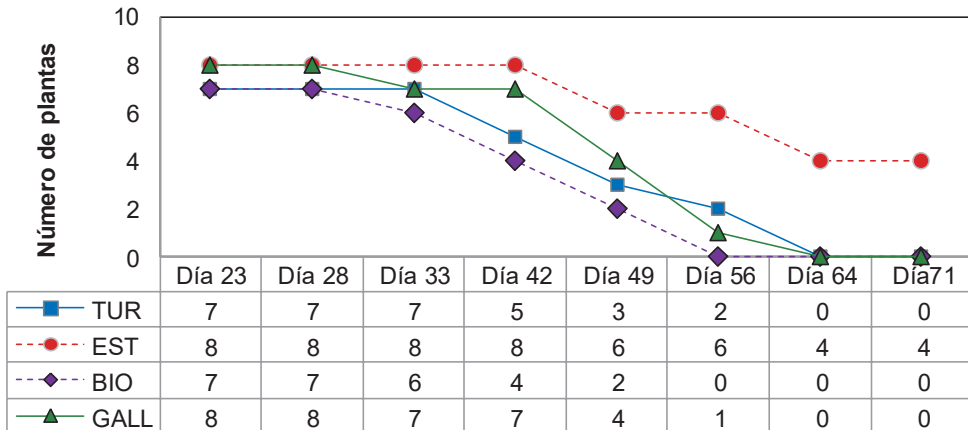


Figura 5. Sobrevivencia del cultivo indicador en el suelo remediado

Referencias citadas

- Abdel-Fattah M. 2012. Role of gypsum and compost in reclaiming saline-sodic soils. *Journal of Agricultural and Veterinary Science*, 1(3), pp. 30-38. *En línea*. Disponible en: <https://doi.org/10.9790/2380-0133038> Consultado en agosto de 2019.
- Ahmad S., Ghafoor A., Akhtar M., Khan M. 2015. Implication of Gypsum Rates to Optimize Hydraulic Conductivity for Variable-Texture Saline-Sodic Soils Reclamation. *Land Degradation and Development*, 27(3), pp. 550–560. *En línea*. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ldr.2413> Consultado en abril de 2019.
- Chaganti V. 2014. Evaluating the Potential of Biochars and Composts as Organic Amendments to Remediate a Saline-Sodic Soil Leached with Reclaimed Water. UC Riverside. ProQuest ID: Chaganti_ucr_0032D_11724. Merritt ID: ark:/13030/m5515c89. *En línea*. Disponible en: <https://escholarship.org/uc/item/58t3873z> Consultado en mayo de 2019.
- Chaganti V., Crohn D. 2015. Evaluating the relative contribution of physiochemical and biological factors in ameliorating a saline-sodic soil amended with composts and biochar and leached with reclaimed water. *Geoderma*, 259–260, 45–55. *En línea*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.05.005> Consultado en mayo de 2019.
- David R., Dimitrios P. 2002. Diffusion and cation exchange during the reclamation of saline-structured soils. *Geoderma* 107, 217–279.
- Farooq M., Gogoi N., Barthakur S., Baroowa B., Bharadwaj N., Alghamdi S., Siddique K. 2017. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *J. Agron. Crop Sci.* 203, 81e102. *En línea*. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1111/jac.12169>. Consultado el 16 de agosto de 2019.
- García 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. Depto. Química Agrícola, Geología y Edafología - Universidad de Murcia. España. 363 p.
- Guo Z., Zhang J., Fan J., Yang X., Yi Y., Han X., Wang D., Zhu P., Peng X. 2019. Does animal manure application improve soil aggregation? Insights from nine long-term fertilization experiments. *Science of the Total Environment*. 660:1029-1037. *En línea*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/jac.12169> Consultado en julio de 2019.

- Hazelton P., Murphy B. 2007. Interpreting Soil Test Results: What do all the numbers mean?. CSIRO. Collingwood, Australia.
- Hervé D., Ledezma R., Orsag V., Flores M. 2002. Limitantes y Manejo de los Suelos Salinos y/o Sódicos en el Altiplano. Boliviano. IRD - *Institut de Recherche Pour le Développement*. La Paz, Bolivia. p. 59. *En línea*. Disponible en https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers/09-08/010029752.pdf Consultado en abril de 2019.
- Hurtado D. 2019. Eficiencia de biorrecuperación mediante enmienda orgánica incorporada en el suelo salino de la ladera del estable agropecuario "Villa Asís S.R.L" comunidad autogestionaria Huaycán - Ate Vitarte. Tesis Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura - Universidad Peruana Unión. Lima, Perú. 130 p.
- Legros J. 2007. Les grands sols du monde. Presses polytechniques et universitaire romandes. PPUR presses polytechniques. España. 574 p.
- Oo A., Iwai C., Saenjan P. 2015. Soil properties and maize growth in saline and non-saline soils using cassava-industrial waste compost and vermicompost with or without earthworms. *Land Degrad. Dev.* 26, 300-310.
- Qadir M., Schubert S. 2002. Degradation Processes and Nutrient Constraints in Sodic Soils. *Land Degradation and Development.* 294 (June), pp. 275-294.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. *En línea*. Disponible en: <https://www.R-project.org/> Consultado en octubre de 2019
- Richards L., Allison L., Bernstein C., Bower J., Brown M., Fireman J., Richards W. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline alkali soils. United States Salinity Laboratory Staff. Agricultural Research Service. Washington DC, USA. 169 p.
- Sastre-Conde I., Carmen-Lobo M., Beltrán-Hernández R., Poggi-Varaldo H. 2015. Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge. *Geoderma* 247-248:140-150. *En línea*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.002> Consultado en agosto de 2019.
- Srivastava P., Gupta M., Singh N., Tewari S. 2016. Amelioration of sodic soil for wheat cultivation using bioaugmented organic soil amendment. *Land Degrad. Dev.* 27, 1245-1254.
- Walker D., Bernal P. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. Elsevier - Science Direct *Tecnología Bioambiental*, 396-403.
- Yaduvanshi N., Swarup A. 2005. Effect of continuous use of sodic irrigation water with and without gypsum, farmyard manure, pressmud and fertilizer on soil properties and yields of rice and wheat in a longterm experiment. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 73, 111-118.

Trabajo recibido el 3 de marzo de 2020 - Trabajo aceptado el 2 de abril de 2020