



Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú

Bioremediation of saline soils with organic amendments of guinea pig and cattle manure, Cusco-Peru

Aimituma-Franco, Katheryne Micol^{1*}

Llanqui-Ticona, Sheyla Estefanny¹

Fernández-Rojas, Hugo¹

¹Universidad Peruana Unión, Lima, Perú

Recibido: 30 Jun. 2022 | **Aceptado:** 11 Nov. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: micolaimituma@gmail.com

Como citar este artículo: Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E. & Fernández-Rojas, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e388. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e388>

RESUMEN

La salinidad en suelos afecta gravemente a la agricultura mundial por el afloramiento y la acumulación de sales. El suelo peruano tiene cerca de 300 mil hectáreas con esta problemática, una alternativa, es la biorrecuperación por ello, la investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas (estiércol de cuy y vaca) para la biorrecuperación del suelo salino. La investigación consistió en las siguientes etapas: toma de muestras de suelo, construcción de la planta piloto, tratamiento de suelo salino, determinación de Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Relación de Absorción de Sodio (RAS). El diseño de investigación fue el bloque completamente aleatorio con dos repeticiones a los 30, 60, 90 días. Los resultados mostraron que el pH tuvo una mínima disminución de 8,05 hasta 7,3 la CE (Conductividad Eléctrica) logró disminuir hasta un 1,2 mmhos/cm y el PSI tuvo un porcentaje de 7% y un incremento en sus macronutrientes. En tal sentido la aplicación de enmiendas orgánicas de cuy y de vaca demostraron efectos positivos sobre el suelo salino, mostrando un efecto de biorrecuperación y mejora del suelo, obteniendo resultados favorables en las propiedades químicas y físicas del suelo.

Palabras clave: biorrecuperación; degradación; enmiendas orgánicas; parámetros fisicoquímicos

ABSTRACT

Soil salinity seriously affects world agriculture due to the upwelling and accumulation of salts. The Peruvian soil has about 300 thousand hectares with this problem, an alternative is bioremediation, therefore, the research aimed to determine the effect of applying organic amendments (guinea pig and cow manure) for the bioremediation of saline soil. The investigation consisted of the following stages: taking soil samples, construction of the pilot plant, saline soil treatment, determination of the Exchangeable Sodium Percentage (PSI) and Sodium Absorption Ratio (RAS). The research design was a completely randomized block with two repetitions at 30, 60, and 90 days. The results showed that the pH had a minimal decrease from 8.05 to 7.3, the EC (Electrical Conductivity) managed to decrease up to 1.2 mmhos/cm and the PSI had a percentage of 7% and an increase in its macronutrients. In this sense, the application of organic amendments of guinea pig and cow demonstrated positive effects on the saline soil, showing an effect of bioremediation and improvement of the soil, obtaining favorable results in the chemical and physical properties of the soil.

Keywords: bioremediation; degradation; organic amendments; physicochemical parameters



1. INTRODUCCIÓN

La salinización en los suelos es considerada uno de los problemas más graves para la agricultura a nivel mundial, presentando la acumulación de grandes cantidades de sales solubles, sodio intercambiable o ambos, de tal manera que afecta significativamente la productividad del suelo (Delgado Zambrano & Robalino Zambrano, 2017). Se estima que a nivel mundial existen aproximadamente 830 millones de hectáreas (ha) con problemas de salinización, lo que es equivalente a más del 6% del área total mundial y aproximadamente el 20% del área cultivable total (Bandera, 2013; Courel, 2019).

Un suelo salino se caracteriza generalmente como aquel en el que la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación del suelo supera los 4 dS m⁻¹ y tiene porcentaje de sodio intercambiable menor a 15% (Zamolinski, 2000), según menciona Mata-Fernández et al. (2014) estos valores influyen en la presión osmótica, con evidentes repercusiones sobre la vegetación, interfiriendo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Las sales en el suelo se presentan como iones (formas de átomos o compuestos cargados eléctricamente), estos son liberados por la erosión de los minerales en el suelo o también se pueden aplicar a través del agua de riego (Shrivastava & Kumar, 2015).

La salinización afecta negativamente las funciones biológicas en los ecosistemas y causa la degradación del suelo y los recursos hídricos (Manzano Banda et al., 2014), la acumulación de sales en el suelo provoca el aumento del pH y de la conductividad eléctrica (CE) del suelo causando deficiencias nutricionales y toxicidad por iones como el Na⁺ por lo que en estos suelos la vegetación es escasa o nula (Simanca Fontalvo & Cuervo Andrade, 2018). Asimismo, se reduce la infiltración de agua, los intercambios de gases y el crecimiento de las raíces (Bui, 2017). Según Alves Miranda et al. (2018) se estima que el 15% de la superficie terrestre del planeta presenta degradación por erosión de suelo, física y química, incluida la salinización.

La salinidad del suelo puede ser de origen natural o antrópico, de forma natural la salinidad es más frecuente en regiones áridas y semiáridas, debido a la falta de precipitación y una elevada evapotranspiración, lo que causa la acumulación de sales en la superficie presentándose costras blancas (Flores et al., 2014); además de las condiciones climáticas adversas, se deben considerar otros factores como: agua subterránea salina, tierras bajas cercanas a las costas, pantanos y litorales así como en las áreas cercanas a minas y bóvedas salinas (Lamz Piedra & González Cepero, 2013).

Por causa antropogénica, se da principalmente por el uso excesivo de fertilizantes, el riego prolongado con aguas salinas, incorrectas prácticas agrícolas lo cual permite la movilidad de las sales dentro del suelo y el transporte de las mismas a nuevos sitios, agravando la productividad del suelo (Alves Miranda et al., 2018; Mesa, 2003).

Rengasamy (2006) describe la distribución global de suelos salinos y sódicos en los diferentes continentes según el mapa de suelos del mundo de la FAO/UNESCO, según este informe en América del Sur existen 69,4 millones de hectáreas de suelo salino y 59,6 millones de hectáreas de suelos sódicos, haciendo un total de 129 millones de hectáreas de suelos con problemas de salinidad y sodicidad.

En países como Argentina unos 13 millones de hectáreas se caracterizan por la presencia de sales, lo que la convierte en el tercer país, luego de Rusia y Australia, con mayor superficie de suelos afectados por sales (Courel, 2019). En Brasil, la desertificación a causa de la salinidad también representa un problema de degradación de suelos, donde el clima puede ser considerado semiárido, los riesgos de desertificación son eminentes (Coelho Castro & dos Santos, 2020).

La situación de salinización en el Perú se presenta mayormente en las regiones áridas costeras desde los años 70 y 80, sin embargo, en la actualidad no se cuenta con información actualizada sobre la cantidad de suelos afectados por salinización, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) estimó que hay cerca de 300 mil hectáreas con problemas de drenaje y salinización a lo amplio de la zona costera

(Hurtado Delgado, 2019). Asimismo, el Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), afirma que desde los años 70 las costas del Perú contaban con un aproximado de 1 millón de hectáreas para riego, donde 750 mil hectáreas eran de cultivos, las cuales 300 mil hectáreas tienen problemas de salinidad (Moscol Soto, 2018).

Actualmente, el tema de salinidad no es ajeno a la realidad nacional, este problema viene destacando en la costa peruana en zonas áridas y semiáridas, en lugares con períodos de sequía como en lugares templados, secos y trópicos secos. Se ha presentado ante el congreso del Perú el proyecto de Ley N° 7786-2020-CR (2021), “Proyecto de Ley que declara de interés Nacional y Necesidad Pública la prevención de la Salinización del Suelo Agrícola”, que tiene por objeto proteger la seguridad alimentaria nacional, en este proyecto se menciona que uno de los temas relacionados a la salinidad es el mal manejo de drenaje. Por otra parte, no existe mucha información sobre salinidad en lugares altoandinos del Perú, según información recopilada este problema se centra más en la zona costera especialmente en los valles del norte en donde predomina la siembra de arroz.

Uno de los métodos para disminuir la salinidad en los suelos es mediante la aplicación de materia orgánica, siendo este un factor clave ya que actúa sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Mederos Molina et al., 2010). El empleo de materia orgánica como el estiércol llega a facilitar la regeneración de suelos salinos y sódicos (Sastre-Conde et al., 2015). Al añadir estiércol al suelo se refleja un aumento de la actividad biológica aumentando directamente la disponibilidad de muchos nutrientes para las plantas, así como la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica y la retención de agua en tanto que la densidad aparente se disminuye (Sastre-Conde et al., 2015).

La conservación, así como la recuperación de suelos salinos son de gran importancia para la producción agrícola, es por ello que se han estudiado métodos físicos, químicos y biológicos (Mata-Fernández et al., 2014). La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto de enmiendas orgánicas (estiércol de vacuno y cuy) para la biorrecuperación del suelo salino en condiciones controladas en la zona rural de Cachipampa en el distrito de San Pablo – Cusco, Perú 2021.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

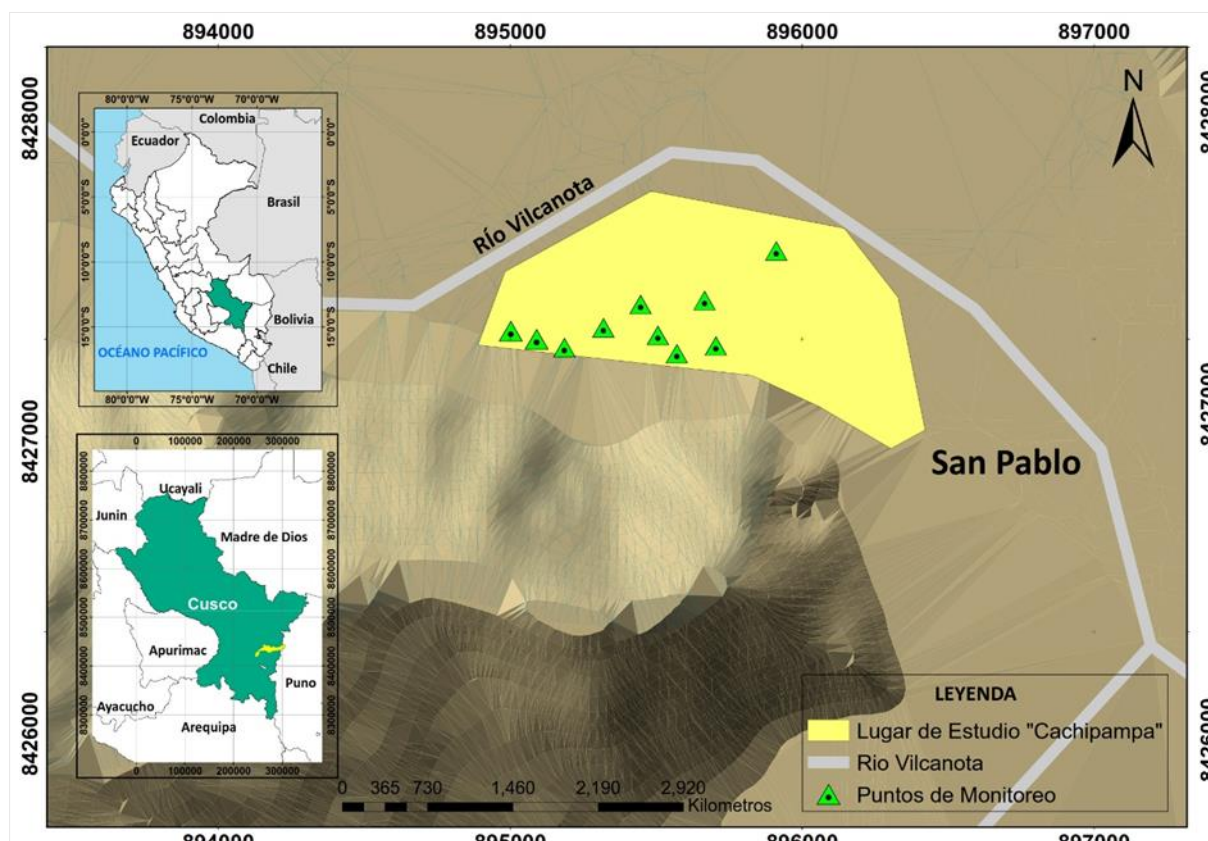
2.1. Lugar de estudio

San Pablo es uno de los ocho distritos de la provincia de Canchis, se encuentra ubicado en la región de la sierra y forma parte de la zona altoandina, presenta una altitud de 3 486 m.s.n.m. y posee 524,06 Km² de superficie. La información digital sobre la comunidad de Cachipampa es limitada, sin embargo, por ser una comunidad de San Pablo presenta el mismo clima de su distrito. Según la estación meteorológica de Sicuani, ubicada a 3 550 m.s.n.m., se considera un clima semifrío, oscila en una temperatura media máxima de 20,5°C y una media mínima mensual de 1,9°C en los meses de junio y julio. El suelo de San Pablo tiene 1 848,36 ha que corresponden a superficie agrícola y 44 100,03 ha son señaladas como tierras no agrícolas; expresando en porcentajes tenemos que el 95,97% es tierra no agrícola y solo un 4,03% es tierra agrícola. Dentro de las tierras que se consideran aptas para en uso agrícola se distinguen 2 tipos: de riego, que representa el 25% de la superficie agrícola y secano, que abarca el 75% de la superficie total agrícola. La comunidad de Cachipampa se ubica en el distrito de San Pablo, departamento de Cusco; con coordenadas de ubicación presentes en la Tabla 1. En la Figura 1 se muestra el mapa de ubicación del lugar de estudio, y en la Figura 2 se muestra una fotografía del suelo salino de Cachipampa, se observa costras blancas de sal en la superficie de suelo, que evidencia la presencia de sales y hace imposible su uso para actividades agropecuarias.

Tabla 1.*Ubicación geográfica del distrito de San Pablo*

UTM	
Coordenadas	250 092,12 m E / 8 428 656,50 m S
Altura	3 466 m.s.n.m.

Fuente: Google Earth

**Figura 1.** *Ubicación del lugar de estudio*

2.2. Toma de muestras de Suelo (Pre tratamiento)

Para la extracción de las muestras del suelo, establecimos 10 puntos aleatorios siguiendo las especificaciones técnicas de la Guía para el muestreo de suelos D. S. N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2014), considerando el método aleatorio simple, recomendaciones de la Guía Técnica para muestreo de suelos de (MINAM, 2014), este método escoge puntos al azar que representan el área muestreada. Realizamos el muestreo a una profundidad de 20 cm con el objetivo de obtener una muestra compuesta significativa, extrayendo 10 submuestras de aproximadamente 2 kg de contenido cada una, en la Tabla 2 describimos la ubicación mediante coordenadas UTM de cada punto de muestreo. Finalmente, mediante la aplicación del método del cuarteo separamos la cantidad de un kilogramo de muestra de suelo, para realizar análisis fisicoquímicos: potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C), Humedad Equivalente (HE), Carbonatos (C), Densidad Real (DR) y Densidad Aparente (DA), en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco.

Tabla 2.*Puntos de Extracción de Submuestras de Suelo*

Punto	X UTM	Y UTM
1	247 322,08	8 428 859,98
2	247 411,23	8 428 833,73
3	247 507,76	8 428 807,35
4	247 639,07	8 428 878,46
5	247 764,40	8 428 961,91
6	247 826,57	8 428 857,99
7	247 892,88	8 428 796,70
8	248 025,74	8 428 826,69
9	247 982,79	8 428 980,84
10	248 223,83	8 429 156,25

2.3. Construcción de la Planta Piloto para el tratamiento

La aplicación del tratamiento de suelo salino requirió de la construcción de una planta piloto, considerando la metodología que empleó (Suaña Jaen & Nina Luna, 2019) en su investigación, la planta piloto que se encuentra ubicada en una vivienda aledaña a la zona de estudio, dicha vivienda cuenta con un espacio ventilado, sin techo con ingreso de rayos del sol a la superficie; condiciones necesarias para la preparación de la planta piloto. Dado que la construcción de la planta piloto y el tratamiento realizamos entre los meses de mayo a septiembre, considerados meses secos (precipitaciones bajas), las precipitaciones fluviales no influyeron para mantener el estiércol y realizar la mezcla para el tratamiento. Para la construcción requerimos de 20 recipientes de plástico con un volumen de 51 litros cada uno aproximadamente, con dimensiones de 61 cm ancho, 42 cm largo y 20 cm profundidad, capaz de almacenar aproximadamente 25 Kg de sustrato. Revestimos cada recipiente con poliuretano de alta densidad con poros en la base para la filtración del agua de riego, evitar la caída de sustrato y mantener la humedad.

Recolectamos sustrato de la zona de estudio, aproximadamente 200 Kg y realizamos su traslado a la planta piloto y lo depositamos sobre una manta para su secado. Después de haber realizado el secado del suelo al ambiente procedimos a tamizar con una malla de 2 mm de diámetro.

2.4. Tratamiento de suelos salinos

Determinamos 4 tratamientos denominados T1, T2, T3 y T4 tal como lo describimos en la Tabla 3 para el tratamiento T1 (2 kg estiércol de cuy) se establecieron los experimentos nominados con la siguiente codificación T1C1, T1C2, T1C3, T1C4 y T1C5, para el T2 (4 kg de estiércol de cuy) se establecieron T2C1, T2C2, T2C3, T2C4 y T2C5, del mismo modo para el T3 (2 kg de estiércol de vaca) se establecieron T3V1, T3V2, T3V3, T3V4 y T3V5, finalmente para el T4 (4 kg estiércol de vaca) se nominaron: T4V1, T4V2, T4V3, T4V4 y T4V5. En cada experimento implementamos 10 kg de suelo salino, más la masa de enmienda orgánica según lo establecido en la Tabla 3, luego homogeneizamos el sustrato con la cantidad de enmiendas orgánicas para cada experimento y depositamos en cada recipiente con su rotulación respectiva.

El tiempo total que empleamos para la recuperación de suelo salino fue de 90 días, sin embargo, realizamos una extracción de muestras a los 30, 60 y 90 días del tratamiento para evaluar el avance de recuperación de suelo salino. En el transcurso de los 90 días de tratamiento implementamos el riego con la cantidad de 1 litro de agua dos veces por semana con la finalidad de mantener la humedad del sustrato.

Tabla 3.*Descripción del tratamiento*

Tratamiento	Experimento	Masa Suelo Salino	Tipo de Enmienda Orgánica	Masa de Enmienda	Tiempo de Extracción
T1	T1C1	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	30 días
	T1C2	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	30 días
	T1C3	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	60 días
	T1C4	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	90 días
	T1C5	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	90 días
T2	T2C1	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	30 días
	T2C2	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	30 días
	T2C3	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	60 días
	T2C4	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	90 días
	T2C5	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	90 días
T3	T3V1	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	30 días
	T3V2	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	30 días
	T3V3	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	60 días
	T3V4	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	90 días
	T3V5	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	90 días
T4	T4V1	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	30 días
	T4V2	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	30 días
	T4V3	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	60 días
	T4V4	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	90 días
	T4V5	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	90 días

2.5. Determinación de Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Relación de Absorción de Sodio (RAS)

Para el cálculo del PSI y el RAS se debe considerar datos de cationes asimilables o intercambiables tales como (Na⁺, Mg⁺, Ca⁺) (Hurtado Delgado, 2019). Analizamos los cationes asimilables a los 90 días de tratamiento para evaluar el mejoramiento de suelos salinos.

Estimamos el PSI mediante la fórmula matemática de Aguirre Hernández (2009):

$$PSI = Na/CIC \times 100 \quad (1)$$

Estimamos la RAS mediante la fórmula matemática de Suaña Jaen & Nina Luna (2019):

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (2)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Tratamiento con enmienda orgánica de cuy

En la Tabla 4 presentamos los resultados del análisis inicial y post tratamiento con sus respectivos parámetros y días de evaluación.

La Tabla 4 describe los resultados obtenidos para las proporciones de 2 Kg y 4 Kg de enmienda de cuy más suelo salino durante 90 días de evaluación. El pH inicial de 8,05 de suelo salino previo al tratamiento indica

índices bajos de precipitación y de lavado, presentando una alta concentración de sales y poco drenaje. Los resultados significativos del pH oscilan entre 7,04 y 7,3 indicando ser un pH neutro.

Tabla 4.

Evaluación del suelo salino con enmienda orgánica de cuy

Parámetros	Análisis Inicial	Días de Evaluación									
		30	30	30	30	60	60	90	90	90	90
		T1C1	T1C2	T2C1	T2C2	T1C3	T2C3	T1C4	T1C5	T2C4	T2C5
pH	8,05	8,04	8,02	8,02	7,9	7,9	7,8	7,5	7,04	7,35	7,3
CE (mmhos/cm)	24,40	21	20	19,8	16,8	8,09	4,84	1,37	1,42	1,12	1,57
M.O (%)	0,40	13,6	11,9	15,2	15,5	17,1	19,2	14,6	18,1	13,1	19,2
Nitrógeno (%)	0,02	0,35	0,35	0,37	0,37	0,52	0,68	0,71	0,75	0,75	0,77
Fosforo (ppm P ₂ O ₅)	0,06	35,9	46,7	38,9	52,2	46,2	56,2	52,8	49,1	56,4	60,1
Potasio (ppm K ₂ O)	535,0	421,6	380	474	506,2	622,8	570,9	210,4	230	182,2	249,2
C.I.C (meq/100)	4,10	12,1	10,8	13	13,5	10,6	11,8	21,2	10,2	20,8	11,4
CC	8,74	40,29	36,5	44,25	45,08	43,96	44,66	49,55	43,86	51,9	43,61
H.E (%)	5,60	46,36	41,26	51,48	52,54	51,11	52	58,33	53,02	61,49	50,65
P.M.P (%)	4,71	21,75	19,61	23,88	24,33	23,73	24,1	26,74	23,67	28,05	23,53
Carbonatos (%)	36,4	19,2	17,8	20,6	19,8	7,8	6,6	4,16	2,9	3,92	3,6
d.a (g/cc)	1,792	1,69	1,71	1,67	1,65	1,68	1,67	1,52	1,55	1,53	1,42
d.r (g/cc)	2,341	2,11	2,21	2,12	2,11	2,21	2,15	2,06	2,27	2,08	2,25
Arena (%)	94	94	89	95	86	89	87	85	82	86	86
Limo (%)	4	5	5	4	4	9	8	8	13	10	8
Arcilla (%)	2	2	2	3	3	3	3	6	5	6	6

Los tratamientos que resultaron ser más eficaces son los evaluados a los 90 días, tanto con enmiendas de 2 Kg y 4 Kg. Como se observa en la Figura 2, el pH disminuye mientras más días de tratamiento transcurre (Ramírez Alaluna, 2016).

En cuanto a la conductividad eléctrica (C.E.) del suelo salino previo al tratamiento, presenta un resultado extremadamente alto de 24,40 mmhos/cm, esto disminuye el rendimiento del cultivo, sin embargo, luego de la aplicación de la enmienda orgánica se aprecia una mejora significativa registrando valores de 1,12 mmhos/cm a los 90 días perteneciente al tratamiento T2C4 con 4 Kg de enmienda de estiércol de cuy, representado la mayor reducción de concentración de sales solubles.

La disminución de la C.E., resulta de las reacciones de precipitación de iones liberados por el aporte de nutrientes de enmiendas orgánicas, generando la liberación de nutrientes desde el suelo (Hirzel & Salazar, 2011).

La concentración de Materia Orgánica (MO) del suelo salino previo al tratamiento fue de 0,40 %, luego de la incorporación de las enmiendas orgánicas se obtuvo incrementos significativos en todos los tratamientos sobre las concentraciones de (MO) a los 60 y 90 días los resultados oscilan entre 15 y 19% de (MO) siendo la más elevada la del tratamiento T2C3 y T2C5 con 19,2 % de (MO) el incremento brinda numerosos beneficios a la estructura del suelo debido a que se forma el complejo arcilloso húmicos.

Según Cueva-Rodríguez et al. (2012) los suelos con (MO) menor al 2 % representan un bajo contenido, entre 2 a 5 % un contenido medio, siendo el valor óptimo un valor mayor a 5 %. Ramírez Alaluna (2016) menciona que la aplicación de enmiendas orgánicas en suelos salinos, genera un efecto de vital importancia porque incrementa la capacidad de (MO) en el suelo.

Por otro lado, la escasez de nutrientes en suelo salinos como el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) limita su fertilidad (Casas Fustamante & Galvan Rivas, 2019). El contenido de Nitrógeno (N) inicial del suelo salino previo al tratamiento fue de un 0,02 %, conforme al análisis realizado después de aplicar las

enmiendas orgánicas se muestra un resultado significativo de 0,71%; 0,75%; 0,75% y 0,77% a los 90 días de evaluación.

En cuanto al contenido de Fósforo (P) inicial del suelo salino previo al tratamiento fue de 0,6 ppm P_2O_5 , y a los 90 días de tratamiento se muestra un resultado muy significativo de 60,1 ppm P_2O_5 , este parámetro coadyuva a que las raíces y la planta se desarrollen rápidamente, mejorando la eficiencia del uso de agua y acelerando la maduración. El Potasio (K) inicial del suelo salino previo al tratamiento muestra una concentración de 535,0 ppm K_2O , luego de aplicar las enmiendas orgánicas tuvo un ligero aumento de 622,8 ppm K_2O .

Según Flores Quispe (2015) y Walker & Bernal (2008) se ha comprobado que la aplicación de enmiendas orgánicas a suelos salinos incrementa el contenido de materia orgánica, aumentando la proporción del Nitrógeno, Fósforo, Potasio y en menor proporción el Magnesio, Sodio y Azufre, entre otros, esto es debido a que los materiales orgánicos de origen animal o vegetal contienen numerosos elementos nutritivos.

Flores et al. (2014), mencionan que el Nitrógeno como forma orgánica es usado por las plantas, es parte de la materia orgánica del suelo y como tal contribuye favorablemente con nutrientes. Casas Fustamante & Galvan Rivas (2019) encontraron que la aplicación de enmiendas proporciona una mayor fracción de materia orgánica en el suelo, la cual directamente incrementa el contenido de potasio en los suelos.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) inicial del suelo salino previo al tratamiento fue de 4,10 meq/100, luego de la incorporación de las enmiendas orgánicas se obtuvieron 21,2 meq/100 y 20,8 meq/100 como los mayores valores luego de 90 días de iniciado el tratamiento.

Por lo general, los suelos con alta C.I.C., son aquellos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica. La elevada C.I.C. les brinda mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles (INTAGRI, 2016).

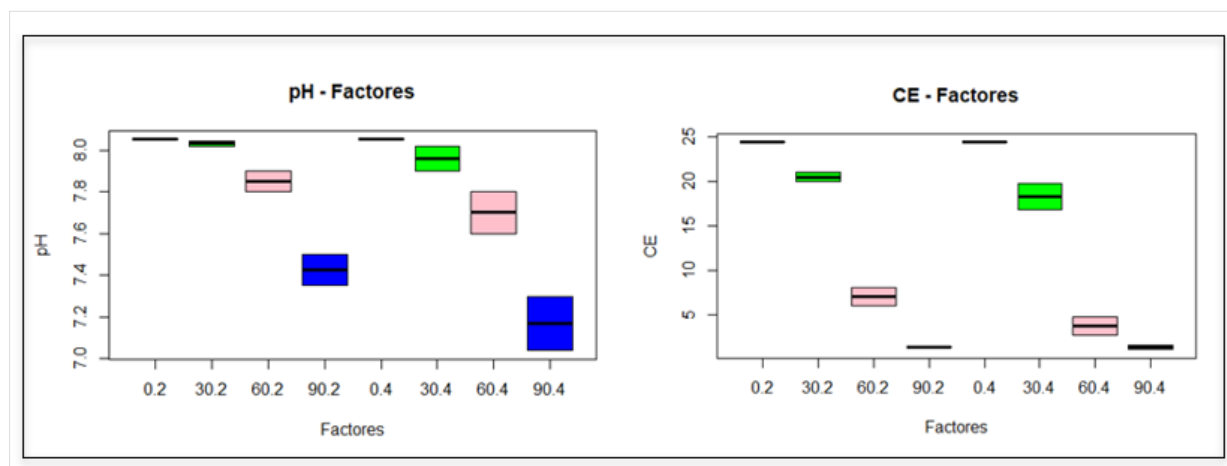


Figura 2. Efecto sobre las variables químicas pH, Conductividad eléctrica (CE) con la aplicación de enmiendas de Cuy

3.2. Tratamiento con enmienda orgánica de vaca

La Tabla 5 describe los resultados obtenidos para las proporciones de 2 Kg y 4 Kg de enmienda de vaca más suelo salino durante 90 días de evaluación. El valor del pH en la muestra inicial del suelo salino previo al tratamiento es de 8,05 considerado significativamente alto, el resultado inicial de Conductividad Eléctrica (C.E.) es de 24,4 mmhos/cm, según estos 2 parámetros podemos clasificar el suelo como un suelo salino según El USDA (United States Department of Agriculture) define a los suelos salinos como aquellos que presentan concentraciones de pH que oscilan entre 7,0 a 8,5 y una conductividad eléctrica >4 dS m^{-1}

(Bandera, 2013). Con una proporción de 2 Kg de estiércol vacuno (correspondiente a los tratamientos T3V1, T3V2, T3V3, T3V4 y T3V5) se muestra que el pH se redujo hasta valores de 7,2 y 7,45 y con 4 Kg de estiércol vacuno se obtuvieron valores mínimos de 7,05 y 7,1 en los experimentos T4V4 y T4V5 a los 90 días, del mismo modo autores como (Suaña Jaen & Nina Luna, 2019) obtuvieron resultados de disminución de pH de 10,13 a 9,71 con tratamientos de estiércol de vaca siendo este el más eficiente en comparación a otros tipos de enmiendas.

Tabla 5.

Evaluación del Suelo salino con enmienda orgánica de Vaca

Parámetros	Análisis Inicial	Días de evaluación									
		30		30		60		90		90	
		T3V1	T3V2	T4V1	T4V2	T3V3	T4V3	T3V4	T3V5	T4V4	T4V5
pH	8,05	8,08	8,02	8,04	8	8	7,45	7,2	7,45	7,05	7,1
CE (mmhos/cm)	24,4	21,7	20,1	18,1	17,1	8,44	3,68	1,53	1,51	1,24	1,75
M.O (%)	0,4	13,8	14,8	15,1	15,7	13,9	16,6	15,2	15,2	25,16	25,16
Nitrógeno (%)	0,02	0,27	0,74	0,66	0,78	0,61	0,75	0,69	0,72	0,76	0,78
Fosforo (ppm P ₂ O ₅)	0,06	36,9	51,9	41,9	44,2	46,2	48,9	57,9	46,4	74,9	74,9
Potasio (ppm K ₂ O)	535	174,4	236,9	233,6	258,2	390,6	440,9	717,8	882,9	717,8	882,9
C.I.C (meq/100)	4,1	12,6	12,2	11,3	12,4	10,8	12,9	16,4	13,1	25,1	12,8
CC%	8,74	44,84	44,02	41,52	47,3	48,98	41,71	42,57	48,36	66,2	47,68
H.E (%)	5,6	42,24	51,18	47,95	55,42	48,19	49,31	57,59	56,78	79,83	55,91
P.M.P (%)	4,71	24,2	23,76	22,41	25,53	26,43	22,97	22,97	26,1	35,72	25,73
Carbonatos (%)	36,4	21	20,4	21,8	20,7	3,58	3,9	3,8	2,6	3,3	2,72
d.a (g/cc)	1,79	1,64	1,67	1,68	1,65	1,54	1,51	1,50	1,52	1,49	1,49
d.r (g/cc)	2,34	2,29	2,12	2,29	2,12	2,13	2,13	2,09	2,26	1,98	2,25
Arena (%)	94	85	86	86	81	96	92	82	80	89	85
Limo (%)	4	3	3	7	9	7	8	10	5	12	12
Arcilla (%)	2	1	1	1	1	5	5	6	5	6	7

Todos los tratamientos mostraron tendencia a disminuir la Conductividad Eléctrica (C.E.) se observa una disminución progresiva a lo largo del período de tratamiento, a los 30 días el valor de C.E. logró reducirse a 17,1 mmhos/cm en el experimento T4V2 (4 Kg de enmienda) siendo este el menor valor obtenido a los 30 días, a los 60 días se redujo a un valor de 3,68 mmhos/cm del experimento T4V3, se observa una reducción significativa a los 90 días de tratamiento llegando a alcanzar valores de 1,24 mmhos/cm y 1,75 mmhos/cm en los experimentos T4V4 y T4V5, registrando una diferencia de 23,16 mmhos/cm entre el valor inicial de C.E. y el valor final de los 90 días. Manzano Banda et al. (2014) en su investigación reportan resultados favorables con la aplicación de estiércol reduciendo la C.E. de 22 dS m⁻¹ hasta 3 dS m⁻¹, resaltando que valores por debajo de 4 dS m⁻¹ son viables para la mayoría de suelos y cultivos.

Los tratamientos con estiércol de vaca originaron un incremento significativo en los valores de la Materia Orgánica (MO) los resultados pre tratamiento presenta un 0,4% de (MO), se observa a un incremento progresivo a lo largo del tratamiento, a los 30 días hubo un incremento hasta llegar a 15,7 % de (MO), a los 60 días el porcentaje registra 16,6 % y a los 90 días se observa un aumento significativo de (MO), con valores de 25,16 %, según menciona Mederos Molina et al. (2010) con la incorporación de este tipo de enmiendas al suelo se obtiene un incremento de (MO) que mejora el estado nutricional de suelo y su calidad.

En caso de los nutrientes en el suelo como el N, P y K se observa un incremento, para Nitrógeno (N) el tratamiento inicia con un valor de 0,02 % y aumenta hasta 0,78 % al terminar el tratamiento, según menciona Flores et al. (2014) el Nitrógeno forma parte de la materia orgánica del suelo y como tal contribuye favorablemente con nutrientes, por tal motivo el aumento de Nitrógeno en los tratamientos es favorable para mejorar la calidad del suelo. Por otro lado, el Fosforo (P) llega a alcanzar hasta 74,9 ppm P₂O₅ de un valor inicial de 0,06 ppm P₂O₅. Según Beltrán-Morales et al. (2019) después del Nitrógeno, el Fosforo es el segundo nutriente más importante para la nutrición vegetal, pero a diferencia del N está

menos disponible en el suelo, por su parte (Vázquez et al., 2020) manifiestan que la cantidad de pH influye para la disponibilidad de fósforo, es decir un suelo con aumento de pH disminuye la concentración de fósforo en el suelo; en los 90 días de tratamiento el pH disminuyó significativamente generando que la concentración de fósforo se incrementara en el tiempo de tratamiento.

El análisis del C.I.C. (Capacidad de Intercambio Catiónico) permite conocer capacidad que tiene una solución de suelo para retener y liberar iones (carga+) (Hurtado Delgado, 2019), el análisis inicial previo al tratamiento muestra un valor de 4,1 meq/100, según se menciona en la investigación de (Hanco Olivera, 2017) un suelo con bajos valores de C.I.C. es un indicador del suelo con baja capacidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. El C.I.C. aumento progresivamente a lo largo de los 90 días de tratamiento, llegando a alcanzar valores de 16,4 meq/100 en el T3V4 (2 Kg a los 90 días) y 25,1 meq/100 en el T4V4 (4 Kg de estiércol), mostrando que el incremento del estiércol vacuno al suelo salino, enriquece al suelo de nutrientes y materia orgánica, García Izquierdo (2008) menciona que el C.I.C. produce liberación de nutrientes y reduce la biodisponibilidad de compuestos tóxicos y en aspecto biológico actúa como fuente de energía y nutrientes para los microorganismos del suelo.

Para ambas enmiendas la textura del suelo se mantuvo con un porcentaje mayor de arena durante el periodo total del tratamiento, a diferencia de una textura limo o arcillosa, la textura tiene una influencia significativa en la capacidad de retención de agua, nutrientes y erosión, estudios demuestran que la textura del suelo tiene una estrecha relación con el contenido de sal y el PH (Liu et al., 2022). Para el estudio de suelos afectados por salinización se tiene como indicadores tres parámetros, los cuales son: conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y potencial de hidrógeno (pH), de los cuales la CE indica los niveles de sales acumulados en los suelos, el PSI es el índice utilizado para conocer el porcentaje de sodicidad en un suelo y el pH es indicador de la neutralización de un suelo (Pinchao, 2015). Por ello, para los tratamientos con enmiendas orgánicas de cuy y vaca los parámetros: Capacidad de Campo (CC), Humedad Equivalente (HE), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Carbonatos, densidad aparente (d.a), densidad real (d.r), Arena, Limo y Arcilla; no se hace mención por ser parámetros de poca significancia, según menciona Zotarelli et al. (2013) son parámetros hídricos del suelo que evalúan la cantidad y almacenamiento de agua que puede ser retenido en el suelo.

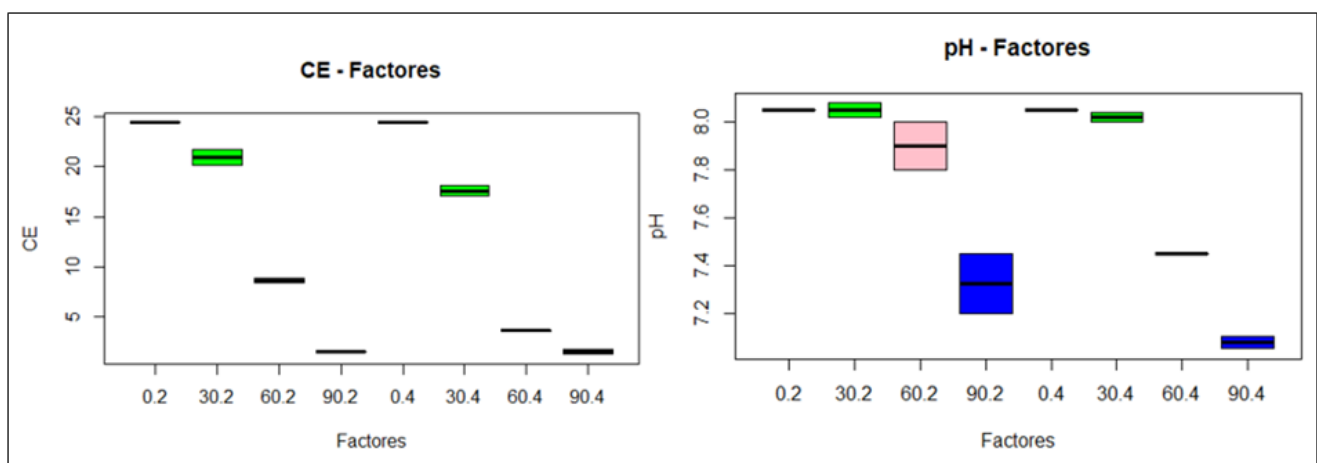


Figura 3. Efecto sobre las variables químicas pH, Conductividad Eléctrica (CE) con la aplicación de enmiendas de vaca

3.3. Determinación del PSI Y RAS

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) expresa el porcentaje de Na⁺ (Sodio) con respecto a los demás cationes adsorbidos, un suelo puede sufrir problemas de sodificación, salinidad y dispersión de la arcilla cuando el PSI > 15 (Pastor Mogollón et al., 2015). En la Tabla 6 se observan los valores de los cationes analizados del suelo a los 90 días de tratamiento, el PSI y RAS calculado. Obtuvimos valores mínimos significativas en el PSI, siendo T4V4 (enmienda con estiércol de vaca) el valor mínimo con un porcentaje de 7% de PSI, los otros valores oscilan entre 7 a 13%, ello se debe a que la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se redujo a lo largo del tratamiento lo que causa que baje la capacidad del suelo para retener cationes, en especial los de sodio (Ramírez Alaluna, 2016). Asimismo, Suaña Jaen & Nina Luna (2019) obtuvieron resultados mínimos de PSI con casi el 50% de reducción con aplicación de enmiendas orgánicas de cuy y vaca.

Tabla 6.

Evaluación del PSI y RAS

Tratamiento	T1C4 (2kg)	T1C5 (2kg)	T2C4 (2kg)	T2C5 (2kg)	T3V4 (4kg)	T3V5 (4kg)	T4V4 (4kg)	T4V5 (4kg)
PSI	7,8	13,5	8,5	13,9	11,2	11,7	7,0	13,4
RAS	2,1	2,1	2,2	2,4	2,3	2,3	2,3	2,5

Resulta importante la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) para conocer la proporción de sodio en función del calcio y magnesio (Aguirre Hernández, 2009). Los suelos que tienen valores de RAS de 13 o más pueden caracterizarse por una mayor dispersión de materia orgánica y partículas de arcilla, conductividad hidráulica saturada aireación reducidas, y una degradación general de la estructura del suelo (Sposito & Mattigod, 1977). En los valores de RAS obtenidos de la presente investigación se observa que oscilan entre 2,1% hasta 2,5%,

Para cada capa de suelo, este atributo en realidad se registró como tres valores separados en la base de datos. Un valor bajo y un valor alto indican el rango de este atributo para el componente del suelo. Un valor "representativo" indica el valor esperado de este atributo para el componente. Para esta propiedad del suelo, solo se utiliza el valor representativo.

4. CONCLUSIONES

La incorporación de enmiendas orgánicas de cuy en el suelo salino demostró eficiencia en la biorrecuperación del suelo a lo largo del tratamiento (90 días), los tratamientos con la aplicación de estiércol de cuy redujeron el pH de 8,05 hasta 7,3. Asimismo la CE (Conductividad Eléctrica) se redujo en más del 90%, llegando a valores de 1,12 con respecto a la MO (materia orgánica) aumentaron sus niveles de concentración de 0 hasta 19% en forma paralela en todos los tratamientos. Por lo tanto, la incorporación de enmienda orgánica mejoró las propiedades químicas y físicas del suelo salino, ya que presentaron mejora de valores que los resultados iniciales, mostrando un efecto positivo en relación a la reducción de sales e incremento de materia orgánica.

Del mismo modo, la incorporación de enmiendas orgánicas de vaca en el suelo salino, mostró eficiencia en los resultados finales, llegando a biorrecuperar el suelo contaminado con sales a lo largo del tratamiento, considerando que el pH, CE y PSI son indicadores de suelos salinos, el pH se redujo hasta 7,05 de un pH inicial de 8, la CE (Conductividad Eléctrica) se redujo hasta 1,75 de un valor inicial de 24,4 en cuanto a los valores de MO (Materia Orgánica) se observa que hay un aumento de manera progresiva a lo largo del tratamiento en 90 días, llegando a valores de 25,16%, aumentando sus niveles de nutrientes en el suelo y mejorando su estructura.

Por otro lado, en el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) se puede observar en los resultados a los 90 días alcanzan valores por debajo del 15% con la aplicación de enmiendas orgánicas de cuy, así como con las enmiendas de vaca, obteniendo resultados favorables en todos los tratamientos paralelamente, disminuyendo el contenido de sodio intercambiable del suelo.

El tiempo y dosis de enmiendas influyen de manera importante en el tratamiento, observamos mejores resultados con la aplicación de 4kg de enmiendas a los 90 días, cuanto más tiempo dure el tratamiento o cuanta mayor sea la dosis de aplicación de enmienda, se obtendrán resultados más favorables.

Podemos decir que la incorporación de enmiendas orgánicas de cuy y de vaca poseen efectos positivos sobre el suelo salino, mostrando un efecto de biorrecuperación y mejora del suelo, mostrando resultados eficientes en las propiedades químicas y físicas del suelo.

FINANCIAMIENTO

Ninguno

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E. y Fernández-Rojas, H.: Coordinación del proyecto, recolección de las muestras, descripción taxonómica, análisis, discusión, redacción e interpretación de los resultados, metodología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Hernández, A. (2009). *El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego* [Centro de Investigación en Química Aplicada]. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/344>
- Alves Miranda, M. F., Galvão dos Santos Freire, M. B., Gomes Almeida, B., Freire, A. G., Freire, F. J., & Medeiros Pessoa, L. G. (2018). Improvement of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(9), 1207–1221. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1419195>
- Bandera, R. (2013). *Rehabilitación de suelos salino - sódicos : evaluación de enmiendas y de especies forrajeras* [Universidad de Buenos Aires]. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5880>
- Beltrán-Morales, F. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J. S. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Troyo-Diequez, E., Alcalá-Jauregui, J. A., & Murillo-Amador, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Revista Terra Latinoamericana*, 37(4), 371–378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Bui, E. N. (2017). Causes of Soil Salinization, Sodification, and Alkalinization. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.264>
- Casas Fustamante, N., & Galvan Rivas, A. F. (2019). *Eficiencia de las enmiendas orgánicas en la recuperación de suelos salinos en el distrito de San Vicente De Cañete – Lima* [Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1817>
- Coelho Castro, F., & dos Santos, A. M. (2020). Salinity of the soil and the risk of desertification in the

- semiarid region. *Mercator*, 19(1), 1–13. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>
- Courel, G. F. (2019). *Suelos salinos y sódicos* (pp. 1–8). Cátedra de Edafología. <https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/0/module/9026474176/name/Suelos%2BSalinos>
- Cueva-Rodríguez, A., Yépez, E. A., Garatuza-Payán, J., Watts, C. J., & Rodríguez, J. C. (2012). Diseño y uso de un sistema portátil para medir la respiración de suelo en ecosistemas. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 327–336. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400327
- Delgado Zambrano, J. G., & Robalino Zambrano, J. A. (2017). *Aplicación (in vitro) de consorcios de microorganismos y azolla caroliniana para recuperación de suelos salinos en muestras del sitio correaguamanabí* [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/604>
- Flores, E., Flores, J., & Tórrez, J. (2014). Recuperación de suelos salinos con la incorporación de sulfato de calcio hemidrato (Ca(SO₄)_{1/2}H₂O) en la comunidad de Yotala. In *Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-I: Handbook* (1st ed.). ECORFAN.
- Flores Quispe, L. (2015). *Efecto de las enmiendas orgánicas terramar®, humax® 90 y koripacha – bio®, sobre algunas propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo de rabanito (raphanus sativus L.) en el distrito de San Jeronimo, provincia de Andahuaylas* [Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/39>
- García Izquierdo, C. (2008). *Enmiendas Organicas para Suelos basadas en residuos Organicos* (Vol. 78). Academia de Ciencias de la Región de Murcia.
- Hanco Olivera, C. C. (2017). *Desalinización con Beterraga (Beta vulgaris L.) asociada al vermicompost y cal agrícola para el mejoramiento de la calidad del suelo, Cañete, 2017* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3539>
- Hirzel, J., & Salazar, F. (2011). Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 28. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/3555>
- Hurtado Delgado, D. A. (2019). *Eficiencia de biorrecuperación mediante enmienda orgánica incorporada en el suelo salino de la ladera del Establo “Agropecuaria Villa Asís S.R.L” comunidad autogestionaria Huaycán – Ate Vitarte* [Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1791>
- INTAGRI. (2016). *La Salinidad de los Suelos, un Problema que Amenaza su Fertilidad*. Instituto Para La Innovación Tecnológica En La Agricultura. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/salinidad-de-suelos-problema-de-fertilidad#:~:text=La%20salinidad%20tiene%20un%20efecto,Absorci%C3%B3n%20limitada%20de%20los%20nutrimentos>
- Lamz Piedra, A., & González Cepero, M. C. (2013). La Salinidad como Problema en la Agricultura: La Mejora Vegetal una Solucion Inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31–42. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005&lng=es&tlng=es
- Ley N° 7786-2020-CR. (2021). Ley que declara el interés nacional y necesidad pública la prevención de la salinización del suelo agrícola. *Congreso de La República Del Perú, 27 de Mayo de 2021*. https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL07786-20210527.pdf
- Liu, W., Ma, L., Smanov, Z., Samarkhanov, K., & Abuduwaili, J. (2022). Clarifying Soil Texture and Salinity

Using Local Spatial Statistics (Getis-Ord G_i^* and Moran's I) in Kazakh-Uzbekistan Border Area, Central Asia. *Agronomy*, 12(2), 332. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020332>

- Manzano Banda, J. I., Rivera Ortiz, P., Briones Encinia, F., & Zamora Tovar, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 211–219. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000300211&lng=es&tlng=es
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital Del Departamento El Hombre y Su Ambiente*, 1(5), 26–35. http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_SALINIDAD_EN_SUELOS_ESPANOL.pdf
- Mederos Molina, A., Orellana, R., Bastida, F., Hernández, M. T., & García, C. (2010). *Efectos de la aplicación de materia orgánica en la actividad de los suelos degradados por salinidad* (pp. 1–29). DOCPLAYER. <https://docplayer.es/89850178-Efectos-de-la-aplicacion-de-materia-organica-en-la-actividad-de-los-suelos-degradados-por-salinidad.html>
- Mesa, D. (2003). Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(3), 217–226. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018048001>
- MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos. In *En el marco del Decreto Supremo N°002-2013-MINAM* (p. 72). Ministerio del Ambiente. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Moscol Soto, A. J. (2018). *Eficacia del Bacillus Subtilis para reducir la salinidad de los suelos del centro poblado de Quepepampa, Huaral - 2018* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/20211>
- Pastor Mogollón, J., Martínez, A., & Rivas, W. (2015). Degradación química de suelos agrícolas en la península de paraganá, venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 44(1), 22–28. https://www.academia.edu/es/16655969/DEGRADACIÓN_QUÍMICA_DE_SUELOS_AGRÍCOLAS_EN_LA_PENÍNSULA_DE_PARAGUANÁ_VENEZUELA
- Pinchao, J. S. (2015). *Estimación del potencial productivo del suelo (PPS) en un cultivo de maíz (Zea mays) afectado por salinidad en dos municipios del Valle del Cauca* [Universidad del Valle]. <http://hdl.handle.net/10893/7752>
- Ramírez Alaluna, P. M. (2016). *Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf-San Bartolo, Lima* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2482>
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017–1023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>
- Sastre-Conde, I., Carmen Lobo, M., Icela Beltrán-Hernández, R., & Poggi-Varaldo, H. M. (2015). Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge. *Geoderma*, 247–248, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.002>
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Simanca Fontalvo, R. M., & Cuervo Andrade, J. L. (2018). Effect of organic amendments and sulfur on chemical and biological properties of a sodic soil. *Spanish Journal of Soil Science*, 8.

<https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N3.04>

Sposito, G., & Mattigod, S. V. (1977). On the Chemical Foundation of the Sodium Adsorption Ratio. *Soil Science Society of America Journal*, 41(2), 323–329.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100020030x>

Suaña Jaen, H. I., & Nina Luna, A. (2019). *Recuperación de suelos degradados por salinización con lavado y uso de enmiendas orgánicas (estiércol de vacuno y cuy) en el Centro Poblado de Balsapata, distrito de Orurillo de la Provincia de Melgar del Departamento de Puno, 2019* [Universidad Peruana Unión].

<http://hdl.handle.net/20.500.12840/2684>

Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). The incorporation of organic amendments in the form of compost and vermicompost reduces the negative effects of monoculture in soils. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105–112. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>

Walker, D. J., & Bernal, M. 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. *Bioresource Technology*, 99(2), 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.006>

Zamolinski, A. F. (2000). *Experiencias en recuperación de suelos salinizados* (pp. 1–14). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/suelos_salinos/35-salinizados.pdf

Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *EDIS*, 2013(2). <https://doi.org/10.32473/edis-ae496-2013>

ANEXOS



Figura 4. *Suelo salino de Cachipampa*



Figura 5. *Estructura de los recipientes para el tratamiento*



Figura 6. *Sustrato extraído del área de estudio*



Figura 7. *Pesado de Materia Orgánica (estiércol) para el tratamiento*