

Nota técnica

CAMBIOS DE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS EN TRES SUELOS SALINOS, TRATADOS CON CINCO ENMIENDAS CÁLCICAS

Edgar Patricio Cedeño-Coll¹, Josué Otoniel Dilas-Jiménez^{2*}, Manuel Danilo Carrillo-Zenteno³

Palabras clave: conductividad eléctrica; pH; fertilidad del suelo.

Keywords: electrical conductivity; pH; fertility the soil.

Recibido: 23/08/23

Aceptado: 25/10/23

RESUMEN

Introducción. Los suelos salinos son una amenaza para la productividad de los cultivos, lo que ocurre en las zonas arroceras del Ecuador. **Objetivo.** Evaluar los cambios en algunas propiedades químicas en 3 suelos debido al efecto de la aplicación de 5 enmiendas minerales, particularmente los efectos sobre las variables relacionadas con la salinidad. **Materiales y métodos.** Las enmiendas cálcicas ensayadas (CaCO_3 , Ca(OH)_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSiO_4) y una zeolita, se aplicaron en 5 dosis al cultivo de arroz. El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial $3 \times 5 \times 5 \times 3$ de los tratamientos. Cada tratamiento se repitió 3 veces. **Resultados.** Los tratamientos provocaron cambios en la Conductividad Eléctrica (CE) y pH de la solución del suelo y en la fertilidad del suelo. La salinidad de los suelos en la zona de estudio se debe a la presencia de

Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y principalmente Mg^{2+} en el extracto de saturación de los suelos. **Conclusiones.** El uso de enmiendas en general, específicamente CaSO_4 , zeolita y Ca(OH)_2 , mejoraron las propiedades químicas de los suelos al reducir la CE de la solución del suelo.

ABSTRACT

Changes in the chemical characteristics of three saline soils, treated with five calcium amendments. Introduction. Saline soils are a threat to crop productivity, which occurs in the rice-growing areas of Ecuador. **Objective.** To assess the changes in the chemical properties of 3 experimental soils caused by the effect of the application of mineral amendments, particularly the effects on the variables related to salinity. **Materials and methods.** The

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: 20191708@lamolina.edu.pe

1 Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo domingo de Tsáchilas, Ecuador.  0000-0002-7607-4191.

2 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.  0000-0003-4256-8393.

3 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP). Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA). Quevedo, Los Ríos, Ecuador.  0000-0001-7062-8248.

calcium amendments tested (CaCO_3 , Ca(OH)_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Ca_2SiO_4) and a zeolite, were applied in five doses to the rice crop. The experimental design was completely randomized, with a $3 \times 5 \times 5 \times 3$ factorial arrangement of the treatments. Each treatment was repeated three times. **Results.** The treatments caused changes

in the Electric Conductivity (EC) and pH of the soil solution and in soil fertility. The salinity of the soils in the study area is due to the presence of Na^+ , K^+ , Ca^{2+} and mainly Mg^{2+} . **Conclusions.** the use of amendments: CaSO_4 , zeolite and Ca(OH)_2 , improved the chemical properties of the soils by decreasing the EC of the soil solution.

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*) es el cereal de mayor importancia alimenticia a nivel mundial, los principales países productores son China, India, Indonesia y Pakistán (FAO 2015); no obstante, se produce en los 5 continentes (Ramos Gamiño 2013). En América Latina, los países con mayores rendimientos de arroz por hectárea son Uruguay, Argentina, Perú y Brasil con rendimientos de hasta $8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. En Ecuador, el promedio corresponde a $4,42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, que es menor a los reportados en Colombia, que están alrededor de $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Faostat 2021).

En el 2021 en Ecuador, se sembraron alrededor de 340 mil ha de arroz (Faostat 2021). Aproximadamente, 95% de la superficie sembrada se ubica en las provincias del Guayas, Los Ríos y Manabí. Los cantones con mayor producción son Daule, en la provincia del Guayas, y Babahoyo, en la provincia de Los Ríos; sólo la provincia del Guayas representa un 61% del área sembrada con este cultivo (Litardo *et al.* 2023). El cultivo de arroz se realiza en diferentes tipos de suelos y el éxito o fracaso de los emprendimientos agrícolas depende del uso de nuevas tecnologías para incrementar los rendimientos de los cultivos. Esto aún más, en suelos degradados donde ha ocurrido reducción de los rendimientos y de la economía del productor (FAO 1996).

Aproximadamente, el 15% de los suelos del mundo se encuentra en proceso de degradación física y química por erosión y salinización. Este último es uno de los problemas graves que enfrenta la agricultura a nivel mundial (Lamz Piedra y González Cepero 2013). Los suelos a nivel mundial afectados por acumulación de

cantidades excesivas de sales solubles, como el sodio, son cerca del 0,8 y 1,3 millones de km^2 , afectan y alteran la productividad (Toth *et al.* 2008, Shrivastava y Kumar 2015) y se incrementan paulatinamente con el uso de agua salina utilizada para el riego (Hoang *et al.* 2016).

Los suelos salinos sódicos se caracterizan por tener una alta presencia del sodio, que coincide con su proximidad del nivel freático a la superficie terrestre. Esta condición les otorga características físico-químicas especiales no favorables para la producción de muchos cultivos, y por tanto, una baja productividad (Roca y Pazos 2007).

En la cuenca del Guayas en Ecuador, se reportan suelos con problemas de alta salinidad (Baquerizo *et al.* 2019). El cultivo de arroz ocupa un área significativa de esta zona, pero sus suelos presentan signos de salinización, por lo que es conveniente verificar frecuentemente su condición (Pozo *et al.* 2010). Esta acumulación de sales deteriora la calidad de los suelos destinados a la producción de cultivos e interfiere de manera negativa en el crecimiento de las plantas (Otero *et al.* 2002). Entre los efectos negativos está la inhibición de la germinación de semillas y la degradación del suelo, que generan calidad deficiente y bajos rendimientos en los cultivos (Pozo *et al.* 2010).

Por los antecedentes de salinidad de las aguas y de los suelos cultivados con arroz, que afectan al desarrollo del cultivo, se planteó la presente investigación. El objetivo fue evaluar los cambios en algunas propiedades químicas de los suelos experimentales, provocados por el efecto de la aplicación de enmiendas minerales;

particularmente, los efectos sobre las variables relacionadas con la salinidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en el invernadero y laboratorio del Departamento de Suelos de la Estación Experimental Litoral Sur (EELS)

del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (2°15'28.6" Latitud Sur y 79°38'42.6" Longitud Oeste). Las colecciones de suelos se realizaron en los siguientes lugares: La Cuca (3°28'22.2" Latitud Sur y 80°04'55.4" Longitud Oeste); El Pan (2°05'18.8" Latitud Sur y 79°46'00.4" Longitud Oeste); y Petrillo (1°59'01.1" Latitud Sur y 80°02'10.8" Longitud Oeste). Las características climáticas registradas en los años 2009 y 2010 de las zonas donde se recolectaron los suelos para el estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características climáticas del sitio de trabajo (invernadero) y de los cantones de donde tomaron los suelos.

Variables Climáticas	EELS*	Daule*	Yaguachi**	Arenillas**
Altura (msnm)	17,0	7,0	13,0	26,0
Temperatura (°C)	26,3	26,6	25,7	25,0
Precipitación anual media (mm)	1002,7	1177,1	1369,5	1161,5
Humedad relativa (%)	82,0	87,0	79,0	84,0
Heliofania (horas luz año ⁻¹)	726,0	1118,8	973,4	992,0

* INAMHI 2010; ** INAMHI 2009

EELS = Estación Experimental Litoral Sur (INIAP), ubicación del invernadero.

Recolección y algunas características de los suelos

Se recolectaron suelos salinos de 3 cantones arroceros ubicados en: Petrillo, parte norte del cantón Guayaquil; El Pan, cantón Yaguachi, parte centro oeste de la misma provincia; La

Cuca, cantón Arenillas, parte sur de la provincia de El Oro.

Algunas de las propiedades químicas de los suelos de estudio se presentan en la Tabla 2 y se realizaron en el laboratorio del Departamento de Suelos de la EELS.

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos usados en el estudio, según su localidad.

Identificación de suelos	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fee	Mn	B
		mm.kg ⁻¹		meq.100 ml ⁻¹			mm.kg ⁻¹					
La Cuca	6,5 LAc	26,0	47,0	0,8	11,1	7,1	334,0	3,7	2,7	30,0	124,0	2,1
El Pan	7,8 LAI	30,0	10,0	0,3	15,5	12,9	216,0	1,4	15,9	6,0	55,0	0,2
Petrillo	7,0 N	36,0	6,0	0,5	16,0	12,2	606,0	3,8	5,8	5,0	44,0	1,1

LAc = Ligeramente Ácido.

LAI = Ligeramente Alcalino.

N = Neutro.

Se determinaron las propiedades químicas de los suelos mediante la relación suelo:agua de 1:2,5; el pH se determinó con peachímetro; la materia orgánica (MO) con el método de Walkley-Black; el nitrógeno (N), fósforo (P) y boro (B) por colorimetría; Azufre (S) por turbidimetría y los cationes intercambiables extraídos con solución Olsen Modificada. El extractante Olsen Modificado es una solución acuosa de 0,5 M de bicarbonato de sodio con 0,01M de EDTA

con un pH regulado de 8,5 (Aucatoma 2017), donde las muestras procesadas fueron leídas en absorción atómica, y para B y S se usó fosfato de calcio monobásico.

La salinidad como CE (Conductividad Eléctrica) y RAS (Relación de Adsorción de Sodio) se determinó en el extracto de pasta saturada. También se midieron los cationes intercambiables mediante absorción atómica, lo que permitió clasificar los suelos como salinos (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis químico de salinidad en extracto de pasta saturada en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.

LOTE	pH	CE	Na	K	Ca	Mg	Suma	CO ₃ H	CO ₃	SO ₄	Cl	RAS	PSI
		dS.m ⁻¹	mg.l ⁻¹					meg.l ⁻¹					
La Cuca	7,8	17,48	1038,0	104,1	1264,0	856,4	3262	2,0	ND	32	148	6	6
El Pan	8,3	3,33	297,8	7,2	206,5	129,0	640,4	5,2	0,8	7	22	4	4
Petrillo	8,0	6,89	666,7	22,8	380,0	270,0	1339,0	6,6	0,2	21	44	6	8

RAS = Rango Absoluto de Salinidad.

PSI = Porcentaje de Sodio Intercambiable.

La textura de los 3 suelos se determinó por el método de Bouyoucos. Esta es una de las formas más rápidas para analizar la textura de suelo, ya que se miden las partículas en suspensión, es decir, se calculan las partículas en suspensión con un agente químico dispersante como el (NaPO₃)₆ y Na₂CO₃ (Muelas y Muñoz 2015).

La densidad del suelo se midió por el método del terrón parafinado, donde se seca el terrón de suelo a 105 grados Celsius y se recubre con parafina, luego se introduce en un

contenedor con volumen de agua conocido, y así la diferencia en cambio de volumen de agua corresponde al volumen de la masa de suelo seco. En vista de que la mayoría de las rocas tienen como regla general una densidad aparente de 2,65 gr.cm⁻³ y un suelo franco limoso tiene un espacio poroso del 50% y una densidad aparente de 1,33 gr.cm⁻³, esta relación apoya a que uno de los métodos más confiables para densidad aparente del suelo sea el de terrón parafinado (Gómez 2013). La Tabla 4 presenta algunas propiedades físicas medidas de los suelos usados.

Tabla 4. Características físicas y materia orgánica de los suelos usados en el estudio.

Identificación	M.O	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	Densidad Aparente
	%	dag.kg ⁻¹				t.m ⁻³
La Cuca	3,0	49	43	8	Arcilloso	1,1
El Pan	3,2	13	35	52	Franco	1,2
Petrillo	4,7	13	31	56	Arcilloso	1,4

Muestreo de suelos experimentales

Se recolectaron los suelos de Petrillo, La Cuca y El Pan a partir de la capa superficial (0-20 cm de profundidad) en las 3 zonas arroceras con problemas de salinidad seleccionadas para el estudio (previa determinación de la CE). Cada muestra fue equivalente a 200 gr de suelo seco, molido y tamizado por malla de 2 mm. Luego se procedió a colocar el agua de tubería, respectivamente analizada (Tabla 5); y se le agregó a cada una de las macetas de los 3 suelos; Petrillo (1170 cc de agua); El Pan (1160 cc de agua); La Cuca

(760 cc de agua). Una vez alcanzada la saturación del suelo, se dejó una lámina de 2 cm sobre la superficie de estas, la cual duró aproximadamente 1 hora para luego proceder a medir la CE y el pH de la solución que se encontraba en las macetas. La medición se realizó con un medidor de CE y pH calibrado en el laboratorio de análisis de suelo y aguas de la EELS.

La dosis de enmiendas fue calculada al considerar una hectárea de suelo a 20 cm de profundidad y la densidad aparente determinada del suelo.

Tabla 5. Propiedades químicas del agua usada en la investigación.

Identificación	CE	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	pH	RAS	PSI	Na	Clase
Muestra	dS.m ⁻¹	mg.l ⁻¹				meq.l ⁻¹							%	
Agua EELS	0,379	27,0	3,5	62,6	1,2	0,8	1,4	0,8	1,0	8,3	3,0	3,0	62,0	C2SI

EELS: Estación Experimental Litoral Sur.

La reposición del agua del suelo se realizó entre 2 y 3 veces a la semana, según las condiciones de temperatura en el invernadero. La pérdida de agua de evaporación fue contabilizada en las macetas auxiliares descritas y la reposición fue de acuerdo con el peso perdido.

Medición de la conductividad eléctrica (CE) de la solución del suelo que drenaba. Esta variable se registró desde la instalación del experimento y hasta los 60 días (0, 15, 30, 45 y 60 días después de la aplicación), a partir de los 15 DDA (días después de la aplicación), en cada uno de estos tiempos, se eliminó y se repuso el agua. En la parte central del suelo de cada maceta, se realizó un orificio con un diámetro aproximado de 2 cm, donde se acumuló la solución del suelo y sirvió para drenarla. En el agua drenada, se introdujo el electrodo del equipo portátil del conductímetro/peachímetro, previamente calibrado en el laboratorio, y se registró la CE de cada tratamiento en dS.m⁻¹.

Medición del (pH) de la solución del suelo que drenaba. Al mismo tiempo que se registró la CE, con el mismo equipo portátil del conductímetro/peachímetro, se midió el pH de la solución del suelo. La fertilidad del suelo, transcurridos los 60 días de tratamiento, fueron secados al ambiente, molidos, tamizados, para, posteriormente, recolectar sub muestras de 150 gr de cada una de las macetas. Así pues, con el uso de las 3 repeticiones, se formó una muestra compuesta para ser enviada al laboratorio del Departamento de Suelos de la EELS, donde se analizó y se determinó la disponibilidad de nutrientes, CE, el pH, aniones y cationes, y el RAS.

Características generales de los suelos

Petrillo, cantón Daule. Los suelos de esta localidad son vérticos arcillosos con 35% de arcilla muy plástica y pegajosa, y 50% de la fracción de arcilla expandible (2:1) con un severo

agrietamiento e hinchamiento del suelo; así como reacción calcárea con presencia de carbonato de calcio libre dentro de los 50 cm (efervescencia con HCl) o pH 7,3 (Vallejo 1997).

El Pan, cantón Yaguachi. Los suelos son vertisoles arcillosos Gley con > 35% arcilla, muy plástica y pegajosa, y > 50% de la fracción de arcilla expandible (2:1) con severo agrietamiento e hinchamiento del suelo. Están mal drenados, saturados con agua por más de 60 días la mayoría de los años; además, presentan moteados con cromas < 2 en los primeros 60 cm y debajo de los horizontes AB.

La Cuca, cantón Arenillas. Estos suelos son francos con 35% de arcilla, excepto lugares con arenas francas semi modificadas, sobre arcilla, con características vérticas, calcáreas. Subsuelo franco, igual que el tipo arcillo gravilloso. Suelo seco por más de 60 días consecutivos, con profundidad de 20 a 60 cm. De tipo calcáreo, carbonato de calcio libre dentro de los 50 cm con efervescencia de HCl y pH > 7,3.

Diseño del experimento y tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial $3 \times 5 \times 5 + 3$ que correspondió a 3 suelos salinos, 5 enmiendas, 5 dosis para cada enmienda, más 3 tratamientos testigo y cada uno se replicó 3 veces. A continuación, el detalle de los tratamientos:

Los suelos experimentales son los salinos recolectados en Petrillo, El Pan y La Cuca a una profundidad de 0 – 20 cm. Asimismo, las enmiendas minerales ensayadas fueron CaCO_3 ; Ca(OH)_2 ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; zeolita y Ca_2SiO_4 (Ácido

Monosilícico=Ac Monos). Esta última se aplicó en forma líquida a razón de 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 y 7,5 litros.ha⁻¹. Para el resto de las enmiendas, la dosis de aplicación de cada una de ellas fue de 1,5 t.ha⁻¹; 3,0 t.ha⁻¹; 4,5 t.ha⁻¹; 6,0 t.ha⁻¹ y 7,5 t.ha⁻¹.

Procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de los resultados de las mediciones, se utilizó el método de las medias comparadas, mediante la prueba de rango múltiple de Duncan con el 5% de probabilidad. Para el procesamiento de los datos y la elaboración de gráficas, se usó el programa INFOSTAT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La CE en la solución del suelo, correspondiente a los tratamientos testigos del muestreo al día inicial o cero, fue de 1,52; 0,92 y 0,85 dS.m⁻¹, para La Cuca, El Pan y Petrillo, respectivamente. La aplicación de las enmiendas provocó cambios rápidos en la conductividad eléctrica de la solución del suelo. La CE en el suelo de La Cuca, tratado con CaCO_3 , se elevó a 1,69 dS.m⁻¹; en el suelo de El Pan, tratado con ácido monosilícico, la CE fue de sólo 0,96 dS.m⁻¹. Se especula que el cambio pudo haber sido por el efecto de las propias sales libres del suelo o por liberación de los cationes retenidos en la superficie de las arcillas. El anión del ácido monosilícico Si(OH)_3 logra reemplazar, en la solución del suelo, al anión fosfato de calcio, magnesio, aluminio y fosfatos de hierro (Matichenkov 2008). En el suelo de Petrillo, no hubo efecto inmediato de la aplicación de todas las enmiendas (Figura 1).

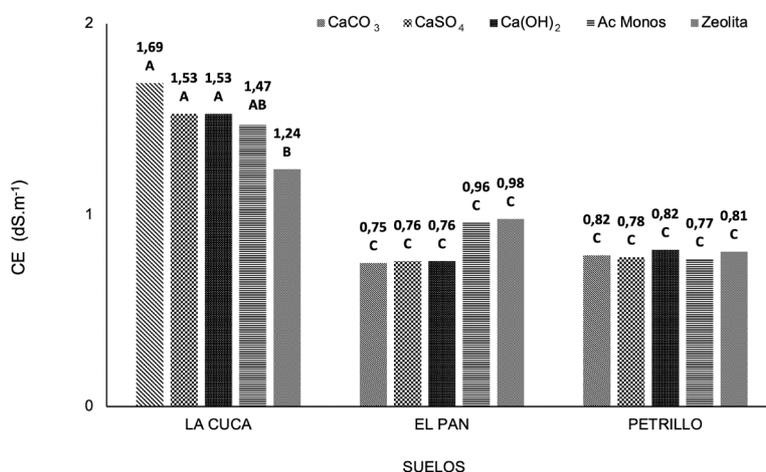


Figura 1. Conductividad eléctrica (CE) de la solución en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, a los 0 días de aplicar las 5 enmiendas.

A los 60 DDA, la CE en los suelos de El Pan y Petrillo fue similar, debido a la menor salinidad inicial 3,33 y 6,89 dS.m⁻¹ con respecto al suelo de La Cuca, que tuvo una CE de 17,48 dS.m⁻¹ (Figura 2).

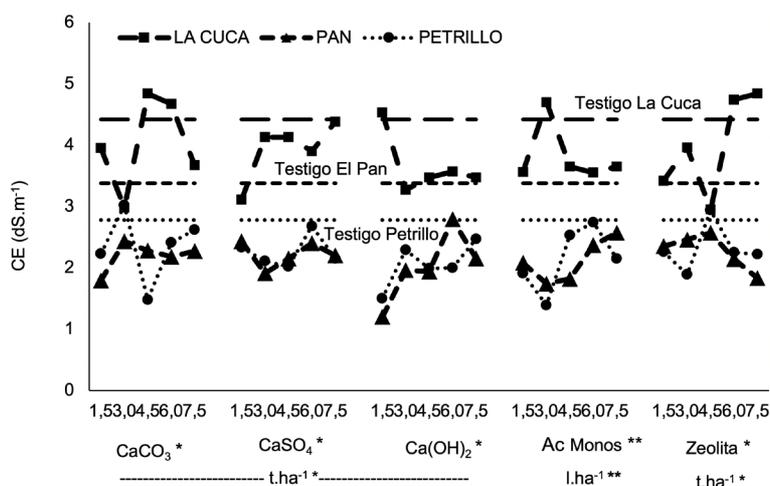


Figura 2. Cambios de la CE 60 días después de la aplicación de las 5 enmiendas en suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo.

La mayor CE de la solución del suelo a los 60 DDA fue de 4,84 dS.m⁻¹, se observó en La Cuca, en los tratamientos con 4,5 y 7,5 t.ha⁻¹ de CaCO₃ y zeolita, respectivamente. En este mismo, la aplicación de Ca(OH)₂ disminuyó la salinidad de la solución del suelo. En El Pan y Petrillo, la mayor CE de la solución del suelo se registró en el tratamiento con 6,0 t.ha⁻¹ de Ca(OH)₂ y 3,0 t.ha⁻¹ de CaCO₃, respectivamente.

La CE de la solución del suelo del tratamiento testigo de La Cuca 4,42 (dS.m⁻¹), se observó con los tratamientos 3,0; 1,5 y 4,5 t.ha⁻¹ de CaCO₃, CaSO₄ y zeolita, respectivamente. Asimismo, disminuyó la CE de la solución a valores cercanos a 3,00 dS.m⁻¹ (ca 32%), lo que indica que con los lavados quincenales previos hubo mayor extracción de sales en los tratamientos con estas dosis de enmiendas.

La aplicación de Ca(OH)₂ no aumentó la CE de la solución, como ocurrió con las restantes enmiendas evaluadas. La dosis de Ca(OH)₂ con mejor desempeño fue 3,0 t.ha⁻¹.

En el suelo de El Pan, todas las enmiendas evaluadas disminuyeron la CE de la solución del suelo, sobresaliendo el Ca(OH)₂. La dosis de 1,5 t.ha⁻¹ disminuyó la CE de la solución a 1,20 dS.m⁻¹, esto es 65% menos que la CE del tratamiento, testigo que fue de 3,38 dS.m⁻¹.

Al igual que en El Pan, el suelo de Petrillo respondió mejor a la aplicación de Ca(OH)₂, en dosis de 1,5 t.ha⁻¹; además, de CaCO₃ y Ac Monos en dosis de 3,0 t.ha⁻¹, que llegaron a valores de alrededor de 1,50 dS.m⁻¹ y

provocaron una disminución del 46% de la CE en la solución del suelo.

Los diferentes efectos sobre la CE de la solución del suelo, provocados por las enmiendas evaluadas, se dieron debido a los contenidos variables de elementos constituyentes y características físicas de estas, así como químicas y físicas de los suelos. La enmienda zeolita, provocó adsorción de los iones de Na⁺, en sus paredes, por desprendimiento e intercambio con los iones Ca²⁺ y por consiguiente incremento de los valores de pH como fue anotado por Torri *et al.* (2021); asimismo, el CaCO₃, CaSO₄ y Ca(OH)₂, también indujo al desprendimiento del Na⁺ de los sitios de intercambio, lo cual elevó la CE inicial, para posteriormente precipitar los aniones CO₃, SO₄ e (OH)₂ (Feuchter 2010, citado por Suárez 2010, Kass 2007, Sierra *et al.* 2007), lo que facilitó la salida del sistema en el proceso de lavado.

Se mostró, con el transcurrir del tiempo, el pH de las soluciones del suelo fue elevándose por acción de la aplicación de las enmiendas, pues partió de 7,46 y 7,77 para el suelo de La Cuca y Petrillo, y alcanzó los 8,58 y 9,15, respectivamente. Asimismo, se observaron modificaciones en el pH de la solución del suelo solamente por efectos simples de los suelos, enmienda y dosis, en el tiempo 0 DDA, donde el menor pH de 7,46 correspondió al suelo de La Cuca, que resultó estadísticamente diferente a los otros que tuvieron pH superiores a 7,70. La misma tendencia se presentó en las evaluaciones realizadas a los 30, 45 y 60 DDA (Figura 3).

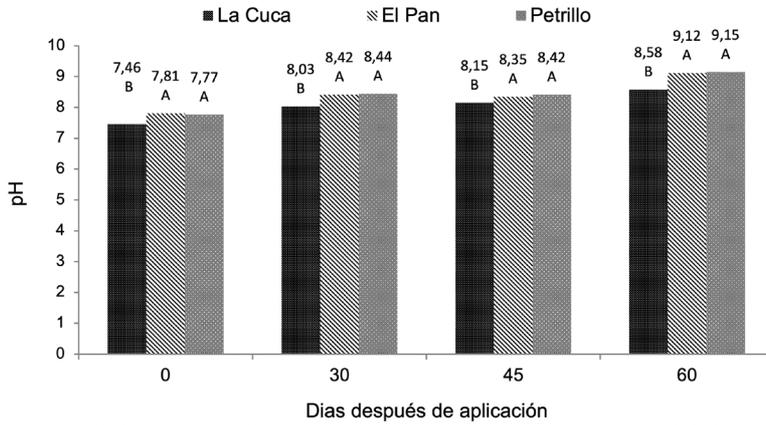


Figura 3. pH del suelo a los 0, 30, 45 y 60 días después de la aplicación de enmiendas al suelo salino de La Cuca, El Pan y Petrillo.

La tendencia de los valores de pH de los suelos no varió en el tiempo, siempre el pH del suelo de la Cuca resultó ser el más bajo, esto debido al pH inicial de cada suelo. Al final de esta fase, se encontró que hubo modificación del pH del suelo, cuyo rango de variación fue de 1,12 en el suelo de La Cuca hasta 1,38, que fue el mayor en el del Petrillo.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en el pH de la solución del suelo a los 0 DDA por efecto de las enmiendas evaluadas. En la Figura 4, se observa que por efecto del uso de CaCO_3 , CaSO_4 y zeolita, el pH estuvo alrededor de 7,40 y resultó estadísticamente diferente (significancia del 5%) a los pH registrados con el uso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y Ac Monos que presentaron valores mayores de 7,8.

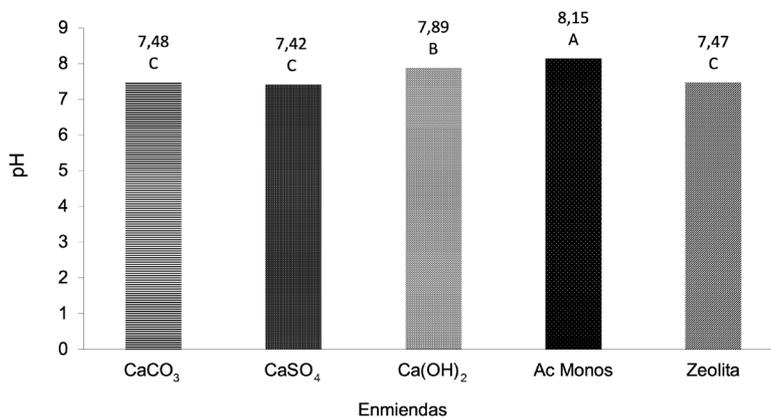


Figura 4. pH de la solución del suelo de los suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, al momento 0 DDA de ser tratados con 5 enmiendas al suelo.

A los 0 DDA se encontraron diferencias estadísticas significativas en el pH de la solución del suelo por acción de las dosis de enmienda usadas. Se observó una tendencia a elevar el pH conforme se incrementa la dosis aplicada

(Figura 5). Este efecto era de esperarse, en vista que estos productos también son utilizados para realizar corrección de acidez, además, aportan OH^- a la solución del suelo.

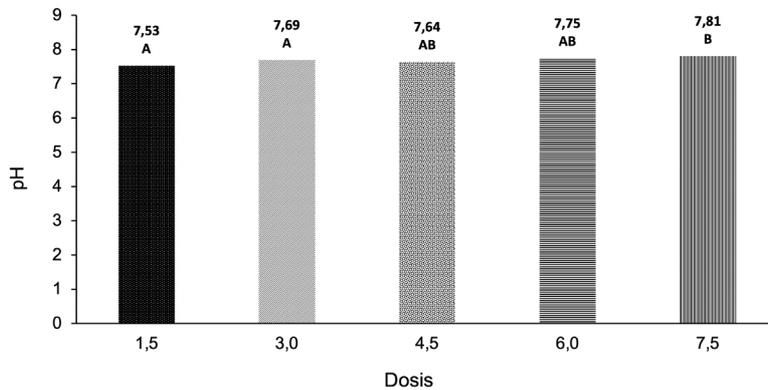


Figura 5. Variación en el pH de la solución del suelo de suelos salinos de La Cuca, El Pan y Petrillo, por efecto de dosis de enmiendas aplicadas al suelo.

En los suelos de La Cuca, la aplicación de enmiendas cálcicas presentaron una diferencia no significativa, salvo con la aplicación del CaCO_4 (Tabla 6). Por otro lado, en el suelo de El Pan, se observó que los valores de P, S, Ca y Mg se elevaron por efecto de la aplicación de las enmiendas. Esto se aprecia en el Zn y B, donde el tratamiento testigo tenía un valor de 1,0 y 0,1

mg.kg^{-1} , considerados bajos. De esta manera, se elevó a 2,3 y 0,4 mg.kg^{-1} , respectivamente, con uso de Ca(OH)_2 y mayores con las restantes enmiendas, valores que son considerados adecuados para la nutrición de los cultivos (Tabla 7). En el caso de los suelos de La Cuca, los niveles de los mismos nutrientes no fueron suficientes para considerarse adecuados.

Tabla 6. Fertilidad de suelos de La Cuca, 60 días después de haber sido corregida su salinidad con aplicaciones de 5 enmiendas cálcicas.

ENMIENDA	N	P	K	Ca	Mg	SB	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
	mg.kg^{-1}			meq.100 ml^{-1}			mg.kg^{-1}					
Testigo	20,0	67,0	0,6	12,1	5,8	18,5	80,0	3,5	6,0	131,0	373,5	0,9
CaCO_3	20,0	75,6	0,6	13,6	6,7	21,0	82,6	3,7	6,4	154,6	468,5	0,9
CaSO_4	19,6	88,2	0,6	15,5	8,1	24,2	130,8	3,6	6,6	107,8	456,5	0,8
Ca(OH)_2	17,6	78,4	0,6	14,3	5,8	20,7	72,8	3,5	6,3	132,2	464,4	1,0
Ac Monos	16,2	81,0	0,6	14,2	6,2	20,9	80,6	3,8	6,4	172,8	539,6	1,0
Zeolita	19,0	71,6	0,6	13,3	6,1	20,0	86,6	3,6	6,3	147,4	423,0	1,0

Tabla 7. Fertilidad de suelos de El Pan, 60 días después de haber sido corregida su salinidad con aplicaciones de 5 enmiendas cálcicas.

ENMIENDA	mg.kg ⁻¹			meq.100.ml ⁻¹		SB	S	Zn	mg.kg ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg				Cu	Fe	Mn	B
Testigo	26,0	8,0	0,3	17,1	13,7	31,1	96,0	1,0	22,2	17,0	70,2	0,1
CaCO ₃	33,2	7,6	0,4	18,6	15,1	34,1	187,8	2,5	17,2	25,0	32,2	0,7
CaSO ₄	32,8	7,4	0,4	16,9	13,8	31,2	169,6	2,2	16,8	48,4	116,4	0,5
Ca(OH) ₂	32,0	8,8	0,4	19,3	14,1	33,8	158,2	2,3	17,8	26,0	36,3	0,4
Ac Monos	33,8	6,8	0,4	21,0	14,3	35,7	191,8	3,0	13,8	23,2	38,8	0,6
Zeolita	33,0	7,2	0,4	21,0	13,4	34,8	175,4	2,8	14,3	20,6	34,4	0,5

El exceso de sales en la solución del suelo puede causar problemas en la fertilidad de los suelos, pues produce un efecto negativo en el potencial osmótico del agua del suelo, lo cual dificulta su absorción y los iones que se encuentran disueltos en ella. También provocan toxicidades en las plantas, por los excesos de iones como Na, Cl, Mg y SO₄: los excesos de sales promueven la estimulación de desbalances nutricionales, todas estas causas en combinación afectan indudablemente a los cultivos. Los suelos alcalinos y sódicos, en particular, se consideran de baja fertilidad, debido a que varios nutrientes son esenciales para las plantas lo que afecta su disponibilidad en condiciones de alcalinidad (García 2012).

El comportamiento del suelo de Petrillo fue diferente a los anteriores, ya que, con la aplicación de las enmiendas, se redujo la disponibilidad de P, S y Zn y se halló una pequeña elevación del Ca y Mg, que se reflejó en la SB (suma de bases); el B se mantuvo sin cambios. Nutricionalmente, la mejor enmienda para el suelo de Petrillo, resultó la aplicación de la zeolita, donde se registra la menor disminución de la disponibilidad de P, elemento importante para el desarrollo de las raíces, elevación mínima de Ca y Mg, con una SB de 34; además, de conseguir el mayor aumento en la disponibilidad de S y Zn (Tabla 8).

Tabla 8. Fertilidad de suelos de Petrillo, 60 días después de haber sido corregida su salinidad con aplicaciones de 5 enmiendas cálcicas.

ENMIENDA	mg.kg ⁻¹			meq.100.ml ⁻¹		SB	S	Zn	mg.kg ⁻¹			
	N	P	K	Ca	Mg				Cu	Fe	Mn	B
Testigo	32,0	7,0	0,5	17,5	13,1	31,1	180,0	3,7	9,6	12,0	34,2	0,6
CaCO ₃	28,2	5,0	0,4	17,6	13,7	31,8	165,8	2,5	12,7	10,8	27,2	0,6
CaSO ₄	31,2	5,0	0,4	20,6	14,6	35,6	185,6	2,3	13,5	10,4	29,4	0,6
Ca(OH) ₂	32,8	6,2	0,4	18,8	14,4	33,6	161,6	1,9	15,1	10,4	24,5	0,6
Ac Monos	30,4	6,4	0,3	17,8	15,3	33,4	160,8	1,5	18,3	10,6	25,2	0,6
Zeolita	36,8	6,8	0,4	19,7	13,9	34,0	217,8	2,6	14,9	16,4	33,9	0,6

CONCLUSIONES

De las 5 enmiendas evaluadas, el CaCO_3 , el CaSO_4 y las zeolitas a dosis de $3,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ tuvieron mejor comportamiento sobre los 3 suelos salinos. Lograron solubilizar las sales encontradas en estos suelos, disminuyeron la presencia de elementos que causan la salinidad y mejoraron sus propiedades químicas.

La aplicación de enmiendas minerales, tanto sólidas como líquidas (Ac. Monosilícico) consiguieron reducir la salinidad, con lo cual se dan opciones para los agricultores en sus programas de recuperación de suelos, así como para optimizar la fertilización.

LITERATURA CITADA

- Aucatoma, B. 2017. Elaboración y Caracterización de un Material de Referencia Interno de suelos para los Macro Elementos P, K, Ca y Mg Extraídos con Olsen Modificado para Análisis de Suelos Cañeros del Orden Inceptisol, Entisol y Vertisol de la Cuenca Baja del Río Guayas. Tesis M. Sc. Guyaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral. 73 p.
- Baquerizo, M; Acuña, M; Solis, M. 2019. Contaminación de los ríos: caso río Guayas y sus afluentes. Manglar 16(1):63-70. DOI: <https://doi.org/10.17268/manglar.2019.009>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1996. Degradación del suelo debido a actividades humanas (en línea, sitio web). Roma, Italia. Consultado 1 ago. 2023. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612smap12-s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Information on post-harvest operations (en línea, sitio web). Consultado 1 ago. 2023. Disponible en <http://www.fao.org/inpho/inpho-post-harvest-compendium/cereales-y-granos/es/>
- Faostat. 2021. Food and Agriculture Organization statistical database (en línea, sitio web). Faostat. Consultado 5 ago. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- García, G. 2012. Absorción, distribución, de las sales y comportamiento del sistema antioxidante en dos genotipos de cebolla (*Allium cepa* L.) sometidas al estrés salino. Tesis Ph.D. Maracay, Venezuela, Universidad Central de Venezuela. 28 p.
- Gómez, J. 2013. Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos. SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje SENA-REGIONAL). Espinal, Tolima, Colombia, Centro Agropecuario La Granja. 100 p.
- Hoang, TM; Tran, TN; Nguyen, TK; Williams, B; Wurm, P; Bellairs, S; Mundree, S. 2016. Improvement of salinity stress tolerance in rice: challenges and opportunities. Agronomy 6(4):1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy6040054>
- Kass, D. 2007. Fertilidad de los suelos. Costa Rica, EUNED. 272 p.
- Lamz Piedra, A; González Cepero, MC. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. Cultivos tropicales 34(4):31-42.
- Litardo, RCM; Bendezú, SJG; Zenteno, MDC; Mora, FC; Rivas, LLP. 2023. Sistema de producción del cultivo de arroz en zonas con alta salinidad en suelos y agua. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 24(2): e2812. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:2812
- Matichenkov, V. 2008. Diferencia y funcionalidad del sílice en Suelos, cosechas y alimentos. II Conferencia Internacional Sobre Eco-Biología del Suelo y del Compost. Puerto de la Cruz-Tenerife, España. p. 431-438.
- Muelas, A; Muñoz, M. 2015. Determinación de la textura por el método de Bouyoucos. Laboratorio de Agroquímica, Química, Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. Consultado 1 oct. 2023. Disponible en <https://es.scribd.com/document/329131507/282421691-Lab-Determinacion-de-La-Textura-Por-El-Metodo-de-Bouyoucos>
- Otero, J; García, C; Sanchez, R. 2002. Zonificación de los procesos de salinización de los suelos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. República de Colombia Ministerio del Medio Ambiente. Colombia, Subdirección de Geomorfología y Suelos. 5 p.
- Pozo, W; Carrera, G; Sanfeliu, T. 2010. Variabilidad espacial temporal de la salinidad del suelo en los humedales de arroz de la Cuenca baja del río Guayas, Sudamerica. Revista Tecnológica Espol. 23(1):73-79.
- Ramos Gamiño, F. 2013. Maíz, trigo y arroz: los cereales que alimentan al mundo (en línea). Nuevo León, México. Consultado 10 ago. 2023. 85 p. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/3649/1/maiztrigoarroz.pdf>
- Roca, N; Pazos, MS. 2007. Clasificación comparada de los suelos salino-sódicos de Fray Mamerto Esquiú (Argentina) con la WRB y la taxonomía de suelos. Terra Latinoamericana 25(3):231-238.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Sierra, C; Lancelloti, A; Vidal, I. 2007. Azufre Elemental como Corrector del pH y la Fertilidad de Alfunos Suelos de la III y IV Región de Chile. *Agricultura Técnica* 67(2):173-181. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000200007>
- Suarez, M. 2010. Efecto de enmiendas de origen químico y orgánico en condición de salinidad del agua de riego para incrementar el rendimiento de cebolla (*Allium cepa* L.). La Libertad, Ecuador. 181 p.
- Torri, SI; Amaturro, JI; Sánchez, L; Pacheco-Rudz, EO. 2021. Efecto de las zeolitas sobre ciertas propiedades de un suelo enmendado con biosólidos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 37:419-430. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.53796>
- Toth, G; Montanarella, L; Stolbovoy, V; Maté, F; Jones, A; Panagos, P; Van Liedekerke, M. 2008. *Soils of the European Union* (en línea). Luxemburgo. 85 p. Consultado 5 ago. 2023. Disponible en https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR23439.pdf
- Vallejo, LM. 1997. Reconocimiento de los suelos del Ecuador en base a su capacidad-fertilidad. Mapa general de clasificación por capacidad-fertilidad. Quito, Ecuador, Instituto Geográfico Militar. 57 p.



