

APLICACIÓN DE CACHAZA Y VINAZA PARA LA CORRECCIÓN DE UN SUELO SALINO-SÓDICO DEL PERÚ

José Emanuel Quintanilla Rosas ^{1*}, Sady Javier García Bendezú ²

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria, Perú.

² Departamento Académico de Suelos, Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la cachaza y la vinaza -residuos generados del procesamiento de la caña de azúcar- en las propiedades de un suelo salino-sódico mediante un experimento en invernadero. Se utilizaron dosis de los residuos para desplazar el 100 y 200 % del sodio intercambiable. La densidad aparente (DA) resultó menor en suelos aplicados con vinaza mientras que la conductividad hidráulica saturada (K_s) resultó mayor en suelos con aplicación de cachaza con aumentos de la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE_{es}) y las concentraciones de sodio, calcio, magnesio, y cloruro. La concentración de sulfato resultó menor en el suelo con vinaza, lo contrario ocurrió en el caso del potasio.

Palabras clave: enmienda orgánica; industria azucarera; conductividad eléctrica

APPLICATION OF SUGARCANE BAGASSE AND VINASSE FOR RECLAIMING A SALINE-SODIC SOIL IN PERU

ABSTRACT

The effect of bagasse and vinasse -residues from sugarcane processing- on the properties of a saline-sodic soil was evaluated through a greenhouse experiment. Corresponding doses for each amendment were used to displace 100 and 200% of the exchangeable sodium. Bulk density (DA) was lower in soils with vinasse application while saturated hydraulic conductivity (K_s), saturated extract electrical conductivity (CE_{es}) and concentrations of sodium, calcium, magnesium, and chloride were higher in soils amended with bagasse. Sulfate concentration was lower in soils with vinasse, whereas the opposite occurred in the case of potassium.

Keywords: organic amendment; sugar industry; electrical conductivity

INTRODUCCIÓN

* Autor de contacto:

josequintanillarosas@gmail.com

Recibido:
11-01-23

Recibido con revisiones:
09-06-23

Aceptado:
14-06-23

En el año 2020, la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) representó entre el 2 y 10% del valor bruto de la producción agrícola del Perú, siendo importante para la región de la costa árida (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2020), en donde la salinidad es el principal problema de degradación, aproximadamente 306701 ha de las tierras están afectadas por este proceso (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2021).

El procesamiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), para azúcar y etanol, genera residuos orgánicos como la cachaza (compuesto sólido generado de la clarificación de los jugos de la caña) y la

vinaza (efluente ácido, salino, con alto contenido de materia orgánica (m.o) disuelta y potasio, generado de la destilación de jugos para la obtención de alcohol y fermentación de la melaza) que han probado ser útiles para la corrección de los suelos salino-sódicos. Así, diversos trabajos encontraron que estos subproductos disminuyeron el pH, PSI, RAS, DA, e incrementaron el contenido de carbono, así como el rendimiento de los cultivos (Basak et al., 2021; Medina et al., 2022; Sheoran et al., 2021).

El presente trabajo buscó contribuir a la evaluación de la cachaza y la vinaza como enmiendas de suelos. Para ello se planteó un experimento macetas y en columnas de suelo con el objetivo de determinar sus efectos en la corrección de un suelo salino-sódico de la costa central del Perú en comparación con el yeso y un testigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelo

El suelo salino-sódico experimental fue obtenido de una parcela cultivada con caña de azúcar, del distrito de Paramonga, provincia de Barranca, región Lima, Perú, 10°42' S, 77°48' O. El suelo fue colectado de la capa superficial (0 – 10 cm) con una pala y posteriormente secado al aire, homogeneizado, molido y tamizado en malla de 2 mm. Las características físico-químicas del suelo (Tabla 1) fueron determinadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF-UNALM).

Tabla 1: Características del suelo experimental

Table 1: Experimental soil characteristics

Características	Valor
Arena (%)	65
Arcilla (%)	19
pH en H ₂ O (1:1)	8,59
Conductividad eléctrica en extracto saturado (dS m ⁻¹)	42,5
Materia orgánica (%)	1,06
Capacidad de intercambio catiónico (cmol _c kg ⁻¹)	11,2
Porcentaje de sodio (Na) intercambiable (%)	15,76
Sodio intercambiable (meq 100g ⁻¹)	1,77
Relación de adsorción de Na (meq ^{0.5} L ^{-0.5})	58,45
Calcio soluble (meq L ⁻¹)	52
Magnesio soluble (meq L ⁻¹)	305
Na ⁺ soluble (meq L ⁻¹)	780,87
Potasio soluble (meq L ⁻¹)	56,79
Sulfato soluble (meq L ⁻¹)	45
Cloro ⁻ soluble (meq L ⁻¹)	1110

Enmiendas, incubación, y tratamientos

La cachaza y la vinaza se obtuvieron de un ingenio azucarero localizado en Paramonga. Las características de la cachaza y vinaza se muestran en la Tabla 2. En el caso del yeso, se utilizó una suspensión con concentración de 750 g L⁻¹. Para cada enmienda se establecieron dosis respectivas para desplazar el 100% y el 200% del sodio intercambiable del suelo (asumiendo un 50% de eficiencia de la enmienda), para las enmiendas orgánicas se utilizaron como referente sus concentraciones de calcio y magnesio. Para la cachaza se establecieron las dosis equivalentes de 17 y 35 Mg ha⁻¹, para la vinaza 356 y 712 m³ ha⁻¹, y para el yeso 5 y 11 m³ ha⁻¹. El suelo fue colocado en macetas de 3 kg de capacidad, donde la cachaza fue mezclada con todo el suelo, y la vinaza y la suspensión de yeso fueron vertidas desde la superficie. Luego siguió un periodo de incubación de 120 días en invernadero a temperatura ambiente, manteniendo el suelo a capacidad de campo con agua desionizada. Se establecieron cinco repeticiones para cada tratamiento y el testigo.

Tabla 2: Características de la cachaza y vinaza

Table 2: Sugarcane bagasse and vinasse characteristics

	Cachaza		Vinaza	
pH	7,01	pH	3,84	
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	1,45	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	35,30	
Materia orgánica (%)	58,45	Materia orgánica (g L ⁻¹)	65,42	
Potasio (%)	0,39	Potasio (g L ⁻¹)	8,9	
Calcio (%)	3,72	Calcio (g L ⁻¹)	1,47	
Magnesio (%)	1,06	Magnesio (g L ⁻¹)	0,73	
Sodio (%)	0,01	Sodio (g L ⁻¹)	0,45	

Determinación de las propiedades fisicoquímicas y lavado del suelo

Al finalizar el periodo de incubación, la DA se determinó insertando cilindros de acero de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro con un martillo de goma en las macetas con 3 kg de suelo. Luego las muestras se secaron en una estufa a 105 °C por 24 horas para poder calcular la DA.

La K_s fue determinada al final de la incubación en columnas de 20 cm de suelo depositadas en cilindros de policloruro de vinilo (PVC) de aproximadamente 5 cm de diámetro interno. Las columnas de suelo fueron construidas apilando cilindros de suelo tomados de las macetas. Se anexó a cada base de los cilindros de PVC, una malla de metal de tamaño de rendija mayor a 2 mm, y una capa de lana de vidrio de 3 cm de espesor para evitar la pérdida de suelo. Las columnas de suelo fueron saturadas durante 48 horas por capilaridad. La ley de Darcy fue utilizada para encontrar el K_s , el nivel de referencia fue elegido en la base inferior de la columna para poder emplear la siguiente relación (Gabriels et al., 2006):

$$K_s = \frac{v}{A \cdot \Delta t \left[\frac{h+L}{L} \right]}$$

donde K_s es la conductividad hidráulica saturada (cm h⁻¹), v es el volumen de agua colectado (cm³) al final de la prueba, h es la carga o altura de agua que se mantiene constante por encima de la columna de suelo (cm), L es la altura de la columna de suelo (cm), A es el área de la sección circular horizontal de la columna de suelo (cm²), Δt es el tiempo que transcurre para coleccionar v (horas).

Se estableció como valores constantes v igual a 100 cm³, h igual a 13 cm, L igual a 20 cm, y A igual a 21,24 cm²; Δt fue la medición del tiempo y fue el valor variable dentro de cada tratamiento. Se comenzó a medir Δt luego de 10 minutos de colocar h sobre L , esto para esperar que el suelo se acomode con el paso del agua dentro de los cilindros de PVC, la altura de h se mantuvo constante con ayuda de una pisseta.

La determinación de la K_s y el lavado se hicieron de forma conjunta, con agua desionizada y en los mismos cilindros de PVC, para el lavado se utilizó un volumen de agua equivalente a tres veces la porosidad del suelo (3P) que se calculó al momento de la determinación de la DA. El volumen de agua utilizada durante la determinación de la K_s (la prueba finalizó cuando se colectó 100 cm³ de agua drenada de los cilindros de PVC) fue descontado de 3P para completar el lavado. El agua de drenaje producto del lavado fue colectada para la medición de su conductividad eléctrica (CE_{ad}).

En el extracto de saturación del suelo lavado se midió la conductividad eléctrica (CE_{es}), la concentración de iones solubles, y se calculó el RAS. Los cationes se determinaron por espectrometría de absorción atómica, el cloruro por titulación con nitrato de plata, y el sulfato por turbidimetría por cloruro de bario. El RAS se calculó mediante:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

donde RAS es la relación de adsorción de sodio ($\text{meq}^{0,5} \text{L}^{-0,5}$); Na^+ es la concentración de sodio (meq L^{-1}); Ca^{+2} es la concentración de calcio (meq L^{-1}); y Mg^{+2} es la concentración de magnesio (meq L^{-1})

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de variancia (ANVA) utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de tres enmiendas (cachaza, vinaza, y suspensión de yeso) por dos dosis equivalentes (desplazar 100 y 200 % del sodio intercambiable) más un testigo; el nivel de significación fue de 0,05. Las diferencias significativas fueron encontradas a través de la prueba de comparación de medias HSD Tukey. El cumplimiento de los supuestos de distribución normal de errores y de homogeneidad de varianzas fue respectivamente verificado a través de los p-valores de las pruebas de Anderson Darling y de Levene. Para algunas variables se utilizó las transformaciones estadísticas Box-Cox para poder cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad. Las variables respuesta fueron: DA, K_s , CE_{es} , CE_{ad} , RAS y concentración de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+2} , K^+ , SO_4^{-2} y Cl^- en el extracto de saturación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas

Al finalizar el ensayo, se encontró que la dosis utilizada para cada una de las enmiendas no afectó significativamente la DA, K_s , CE_{es} , RAS, y la CE_{ad} . También se encontró que la interacción de la enmienda con la dosis sólo resultó significativa para el valor de K_s en el caso de la cachaza ($P < 0,01$). Los resultados sobre la DA, K_s , CE_{es} , RAS, y CE_{ad} se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3: Efecto de la enmienda sobre la densidad aparente (DA), conductividad hidráulica saturada (K_s), conductividad del extracto de saturación (CE_{es}), conductividad del agua de drenaje (CE_{ad}), y relación de adsorción de sodio (RAS)

Table 3: Amendment effect on bulk density (DA), saturated hydraulic conductivity (K_s), saturated extract electrical conductivity (CE_{es}), drainage water electrical conductivity (CE_{ad}), and sodium adsorption ratio (RAS)

Tratamiento	DA (g cm^{-3})	K_s (cm hora^{-1})	CE_{es} (dS m^{-1})	RAS ($\text{meq}^{0,5} \text{L}^{-0,5}$)	CE_{ad} (dS m^{-1})
Enmienda					
Testigo	1,35 ± 0,02 a	1,92 ± 0,51 ab	9,03 ± 2,11 b	9,32 ± 1,81 b	38,34 ± 2,54 b
Cachaza	1,37 ± 0,05 a	2,46 ± 1,07 a	16,45 ± 2,49 a	30,28 ± 4,07 a	37,70 ± 2,7 b
Vinaza	1,27 ± 0,06 b	1,29 ± 0,43 b	9,49 ± 1,58 b	7,40 ± 2,3 b	42,81 ± 0,45 a
Yeso	1,37 ± 0,07 a	1,61 ± 0,5 b	8,98 ± 1,63 b	9,21 ± 1,66 b	41,36 ± 2 a

Valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$) de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey.

La vinaza disminuyó significativamente la DA, lo que puede explicarse por la incorporación de materia orgánica (23 y 46 Mg ha^{-1} , Tabla 2). La disminución de la DA junto a un incremento en la porosidad tras la aplicación de vinaza cruda se encontró en trabajos como el de Costa et al. (2013) y Jiang et al. (2012). Por otro lado, la materia orgánica incorporada con la cachaza (dosis equivalentes a 10 y 20 Mg ha^{-1}) no afectó la DA, la diferencia en estos resultados puede explicarse por la presencia de materia orgánica disuelta. La materia orgánica disuelta de la vinaza produce una mejor agregación del suelo ya que el movimiento de esta con el agua en el perfil del suelo se asocia a una mejor calidad de la estructura a través de la formación de compuestos organometálicos que pueden interactuar con las arcillas (Gmach et al., 2020).

La cachaza reportó un valor de K_s significativamente mayor. La cachaza con dosis de 200% superó significativamente a la cachaza con dosis de 100% en $1,32 \text{ cm h}^{-1}$ (Figura 1). En comparación al testigo, la aplicación de vinaza redujo la K_s del suelo en $0,63 \text{ cm hora}^{-1}$, y el yeso reportó un valor $0,31 \text{ cm hora}^{-1}$ menor (Tabla 3).

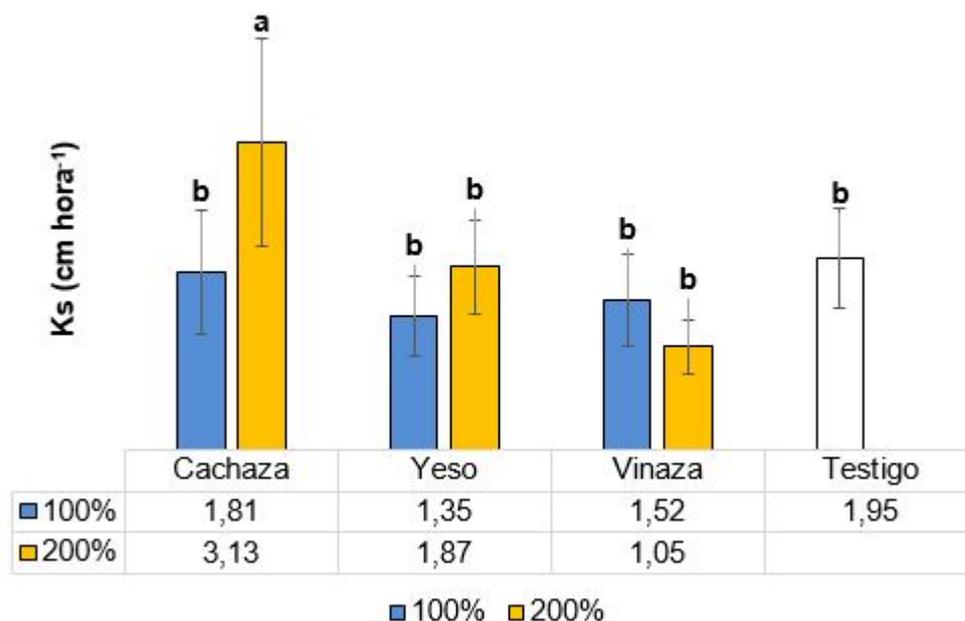


Figura 1: Efecto de la cachaza, el yeso, y la vinaza aplicadas a dos dosis sobre el valor de la conductividad hidráulica saturada del suelo ($K_s \pm$ desviación estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) de acuerdo a la prueba de Tukey

Figure 1: Effect of two doses of bagasse, gypsum, and vinasse on soil hydraulic conductivity ($K_s (\pm$ standard deviation). Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) according to Tukey test.

Un argumento para explicar la disminución del valor de K_s por efecto de la vinaza puede encontrarse en el estudio de Miyamoto et al. (2013), en donde se señala que los sólidos en suspensión de esta enmienda pueden taponar los poros del suelo. También es posible que el efecto de la vinaza dependa de las características intrínsecas del suelo, en Uyeda et al. (2013) se atribuye la diferencia de K_s entre tres suelos aplicados con vinaza, al contenido de arena y a la metodología utilizada para la determinación de K_s . Acerca de la metodología utilizada para calcular el valor de K_s en nuestro estudio es probable que la construcción de una columna de suelo de 20 cm uniendo porciones más pequeñas en un cilindro de PVC, haya dejado espacios por donde el agua pudo fluir libremente, lo que puede explicar que el valor de K_s del testigo haya resultado mayor que el del yeso; por otro lado, parece que esto no afectó a los tratamientos de la cachaza y la vinaza, en donde los efectos de estas enmiendas parecen haber sido lo suficientemente importantes como para superar las limitaciones de nuestra metodología; para futuros experimentos se recomienda trabajar con columnas intactas de suelo.

En nuestro trabajo se propone que la cachaza provocó un flujo preferencial del agua en la matriz del suelo conocido como "bypass flow" durante la determinación de la K_s y el lavado del suelo, lo que aumentó la velocidad del paso del agua a través de la columna de suelo y disminuyó la eficacia de la remoción de las sales, lo último guarda relación con el mayor valor de CE_{es} y menor valor de CE_{ad} encontrado en la cachaza (Tabla 3). El "bypass flow" o flujo preferencial es el movimiento rápido del agua que ocurre a través de los macroporos, grietas, fisuras, galerías hechas por lombrices, o canales hechos por raíces en estado de descomposición, y hace que la mayoría del agua se mueva por estos largos pasajes, lo que a su vez promueve que una gran parte del suelo no entre en contacto con el agua, de esta forma muchas sales no pueden ser lixiviadas, esto hace muy ineficaz el lavado de las sales en los microporos (Hillel, 2000). Al promover el "bypass flow", la cachaza pudo incrementar el valor de K_s en el suelo, esto guarda relación con que, a mayor dosis de cachaza utilizada, mayor fue el incremento en el valor de K_s (Figura 1). En el trabajo de Fujimaki y Abd El Baki (2021) se demuestra como el "bypass flow" puede ser determinante en la acumulación de sales, ya que en un suelo con grietas se reporta que la salinidad del agua de los poros fue casi el triple que la del agua subterránea y la del agua de drenaje, que la salinidad en la zona de raíces fue casi la misma antes y después de la siembra del arroz (teniendo en cuenta que el encharcamiento requerido por este cultivo podría tener algún efecto en la lixiviación de las sales), y que la salinidad del agua de drenaje disminuyó después del riego o la lluvia. En la vinaza, el menor valor de K_s también influyó en la eficacia del lavado, ya

que a pesar de haber añadido una importante cantidad de sales en este tratamiento (Tabla 2), el valor de CE_{es} resultó estadísticamente similar al valor del yeso y el testigo, además que la CE_{ad} resultó ligeramente mayor en la vinaza (Tabla 3), esto sugiere que la menor conductividad hidráulica del suelo promovió una mayor remoción de sales.

El RAS de la cachaza fue mayor por su mayor concentración de sodio en el extracto de saturación; el calcio, el magnesio, y el cloruro también resultaron mayores por la menor remoción de sales (Tabla 4). El RAS del yeso y el testigo resultaron muy similares, ya que la concentración de sodio y la suma del calcio más magnesio fueron parecidas entre ambos tratamientos. Al parecer la suspensión de yeso utilizada en este trabajo tuvo muy poca eficiencia como enmienda, puesto que la concentración calcio en este tratamiento fue menor que la del testigo.

Concentración de iones solubles en el extracto de saturación del suelo

Las dosis de las enmiendas no afectaron significativamente la concentración de iones solubles. La interacción de la enmienda con la dosis sólo resultó significativa para la concentración de calcio en el caso de la cachaza (P de 0,01). Los resultados sobre la concentración de iones solubles en el extracto de saturación se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4: Efecto del tipo de enmienda sobre la concentración de iones solubles en el extracto de saturación.

Table 4: Amendment effect on soluble ions concentration in the saturated extract.

Tratamiento	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
	-----meq L ⁻¹ -----					
Enmienda						
Testigo	48,60 ± 10,6 b	55,61 ± 3,10 a	5,32 ± 0,16 c	35,03 ± 0,61 ab	18,21 ± 2,67 c	38,34 ± 2,54 b
Cachaza	190,50 ± 23,51 a	50,82 ± 4,62 b	7,26 ± 1,32 b	39,35 ± 3,98 a	36,2 ± 4,58 a	186,01 ± 27,10 a
Vinaza	40,75 ± 15,27 b	32,40 ± 2,3 d	11,77 ± 1,57 a	34,06 ± 4,65 bc	25,55 ± 3,05 b	40,24 ± 11,4 b
Yeso	47,35 ± 11,46 b	43,97 ± 3,1 c	5,49 ± 0,83 c	29,91 ± 3,5 c	23,83 ± 2,92 b	47,84 ± 10,7 b

Valores dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P > 0,05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

En la vinaza, yeso, y el testigo se removió aproximadamente 143 meq L⁻¹ más sodio y cloruro que en la cachaza. El paso más rápido del agua en la cachaza 200% puede explicar que en este tratamiento se haya encontrado una concentración de calcio más elevada (42,4 meq L⁻¹) que en la cachaza 100% (36,30 meq L⁻¹) (no se muestra en la Tabla 4).

La concentración de potasio en la vinaza fue significativamente mayor, y se explica por la alta concentración de este elemento en esta enmienda (Tabla 2).

La concentración de sulfato fue significativamente menor en la vinaza, lo que puede explicarse por la interferencia causada por el color y la m.o disuelta de la enmienda durante la determinación de sulfato por turbidimetría con cloruro de bario (el extracto de saturación del suelo presentó una tonalidad roja oscura). El color o grandes cantidades de m.o provocarán interferencia; en las aguas con una importante presencia de m.o puede ocurrir que la precipitación del sulfato de bario, que es el compuesto que se utiliza para cuantificar el sulfato y que se forma luego de agregar el cloruro de bario, no suceda de forma satisfactoria (Baird et al., 2017). La determinación de sulfato a través del método turbidimétrico en soluciones ricas en m.o es problemática, los compuestos orgánicos otorgan un color que causa sobreestimaciones durante las lecturas de absorbancia, por otro lado, impiden la formación de sulfato de bario que a su vez causa subestimaciones (Ristow et al., 2005).

CONCLUSIONES

En la corrección de un suelo salino sódico, la cachaza puede disminuir la eficacia del lavado de las sales si es que provoca el "bypass flow", lo contrario puede ocurrir con la vinaza si es que esta disminuye la conductividad hidráulica del suelo. La incorporación de vinaza puede traer efectos positivos como la disminución del RAS, y el aumento de la concentración de potasio, pero por ser altamente salina, recomendamos su uso siempre y cuando se asegure un buen lavado del perfil del suelo.

REFERENCIAS

- Baird, R., Eaton, A., y Rice, E. (Eds.). (2017). *Standard methods: For the examination of water and wastewater* (23ª ed.). American Public Health Association.
- Basak, N., Sheoran, P., Sharma, R., Yadav, R. K., Singh, R. K., Kumar, S., Krishnamurthy, T., & Sharma, P. C. (2021). Gypsum and pressmud amelioration improve soil organic carbon storage and stability in sodic agroecosystems. *Land Degradation and Development*, 32(15), 4430-4440. <https://doi.org/10.1002/ldr.4047>
- Costa, C., Pedrosa, E. M. R., Rolim, M. M., Santos, H. R. B., & Neto, A. T. C. (2013). Effects of vinasse application under the physical attributes of soil covered with sugarcane straw. *Engenharia Agricola*, 33(4), 636-646. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000400005>
- Fujimaki, H., & Abd El Baki, H. (2021). Effect of bypass-flow on leaching of salts in a cracking soil in the Nile delta. *Water (Switzerland)*, 13(7), 993. <https://doi.org/10.3390/w13070993>
- Gabriels, D., Lobo, D., y Pulido, M. (2006). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. *Venesuelos*, 14, 7-22. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/980
- Gmach, M. R., Cherubin, M. R., Kaiser, K., & Cerri, C. E. P. (2020). Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review. *Scientia Agricola*, 77(3). <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0164>
- Hillel, D. (2000). *Salinity Management for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics*. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2021). *Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2021*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1827/libro.pdf
- Jiang, Z. P., Li, Y. R., Wei, G. P., Liao, Q., Su, T. M., Meng, Y. C., Zhang, H. Y., & Lu, C. Y. (2012). Effect of Long-Term Vinasse Application on Physico-chemical Properties of Sugarcane Field Soils. *Sugar Tech*, 14(4), 412-417. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0174-9>
- Medina Litardo, R. C., García Bendejú, S. J., Carrillo Zenteno, M. D., Pérez-Almeida, I. B., Parismoreno, L. L., & Lombeida García, E. D. (2022). Effect of mineral and organic amendments on rice growth and yield in saline soils. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(1), 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.015>
- Miyamoto, T., Kameyama, K., & Nakajima, T. (2013). Reduction in Saturated and Unsaturated Hydraulic Conductivities of an Andisol by Vinasse Application. *Soil Science Society of America Journal*, 77(1), 1-7. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0079>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. (2020). *Atlas de la Superficie Agrícola del Perú*. https://siea.midagri.gob.pe/portal/media/attachments/publicaciones/superficie/atlas_de_la_superficie_agricola_del_peru.pdf
- Ristow, N. E., Sötemann, S. W., Wentzel, M. C., Loewenthal, R. E., & Ekama, G. A. (2005). Sulphate measurement in organic-rich solutions: Carbonate fusion pretreatment to remove organic interferences. *Water SA*, 31(2), 267-270. <https://doi.org/10.4314/wsa.v31i2.5195>
- Sheoran, P., Kumar, A., Singh, A., Kumar, A., Parjapat, K., Sharma, R., Singh, R. K., Yadav, R. K., Dang, Y. P. & Sharma, P. C. (2021). Pressmud alleviates soil sodicity stress in a rice-wheat rotation: Effects on soil properties, physiological adaptation and yield-related traits. *Land Degradation and Development*, 32(9), 2735-2748. <https://doi.org/10.1002/ldr.3953>
- Uyeda, C. A., de Miranda, J. H., Duarte, S. N., de Medeiros, P. R. F. & dos Dias, C. T. S. (2013). Influence of vinasse application in hydraulic conductivity of three soils. *Engenharia Agricola*, 33(4), 689-698. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000400008>