

Evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles

Guillermo Moisés Rubio Romero

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo
en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Guillermo Moisés Rubio Romero

Zamorano, Honduras
Noviembre 2020

Evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles

Presentado por:

Guillermo Moisés Rubio Romero

Aprobado:


Gloria Gauggel (Nov 13, 2020 09:23 CST)

Gloria E. Arévalo, Dra.
Asesora principal



Rogel Castillo, M. Sc.
Director
Departamento de CIA


Carlos A. Gauggel (Nov 13, 2020 10:29 CST)

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico


María Bravo (Nov 13, 2020 10:40 CST)

María Alexandra Bravo, M.Sc.
Asesora

Evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles

Guillermo Moisés Rubio Romero

Resumen. Las enmiendas son materiales que provocan cambios en propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sirven para corregir aspectos desfavorables y generar mayor producción. El objetivo fue evaluar la efectividad de una enmienda cálcica con melaza e inoculación de levadura, para mejorar suelos en el cultivo de caña de azúcar. Las variables evaluadas en el suelo fueron resistencia a la penetración, carbono y materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio y en cultivo altura del tallo, número de hojas, biomasa aérea y foliar y nutrientes en el follaje. La enmienda se aplicó sobre suelos disturbados, extraídos de tres áreas con pH fuerte y ligeramente ácido y moderadamente básico, en barriles plásticos en DBCA con arreglo factorial de tres suelos y cuatro dosis de enmienda: 3.8, 2.2, 0.7 y 0 t/ha de yeso, mezclado con 329.2 L/ha de melaza y 82.3 L/ha de solución con levadura activada. No hubo respuesta a las dosis incrementales de yeso, pero posiblemente si a la acción de la melaza y levadura ($P \leq 0.05$) en la producción promedio de biomasa fresca del cultivo, 146 versus 122 t/ha sin aplicación. Fueron mejor el diámetro y biomasa de tallos en los suelos ligeramente ácidos y moderadamente alcalinos. No fue claro el efecto de la enmienda cálcica sobre las propiedades físicas de los suelos. La enmienda cálcica incrementó pH y contenido de magnesio en los suelos, lo cual limitó la absorción de potasio en la planta, pero no tuvo efecto en la producción del cultivo.

Palabras clave: Caña de azúcar, levadura activada, yeso, pH.

Abstract. Amendments are materials capable of induce changes in the physical, chemical and biological proprieties of soil. These are useful to correct unwanted aspects that could be present in it, improving the yield. The objective was to evaluate the effectiveness of a calcium-based amendment with molasses and inoculation of microorganisms, to improve disturbed soils on the sugar cane crop. The variables in the soil were resistance to penetration, carbon and organic matter, pH, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium and in the crop stem height, number of leaves per plant, aerial and foliar biomass and nutrients content in the leaves. The amendment was applied on disturbed soils, extracted from three areas with a strongly, lightly acid and moderately basic pH. It was introduced in plastic drones with a CRB design, factorial arrangement of three soils, four doses: 3.8, 2.2, 0.7 y 0 t/ha of gypsum, mixed with 329.2 L/ha of molasses and 82.3 L/ha of activated yeast solution. There was no response to the incremental doses of gypsum, but possibly to the molasses and the activated yeast ($P < 0.05$) on the production of fresh biomass of the crop, 146 vs 122 t/ha without amendment. The diameter and biomass of the stems were better, on the lightly acid and moderately basic soils. The effect of the calcium-based amendment on the disturbed soils was not clear. The application of the amendment incremented the soil's pH and magnesium content, limiting the plant absorption of potassium, but it did not affect crop yield.

Key words: Activated yeast, gypsum, pH, sugar cane.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros, Figura y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1. MATERIALES Y MÉTODOS	4
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
3. CONCLUSIONES.....	26
4. RECOMENDACIONES.....	28
5. LITERATURA CITADA	29
6. ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURA Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción de las características físicas de los tres tipos de suelos de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV), Honduras.....	5
2. Resistencia a la penetración con su respectiva interpretación según colores en los suelos del Ingenio Tres Valles.	5
3. Descripción de las dosis aplicadas para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	7
4. Distribución de los tratamientos aplicados y especificación de cada uno para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	8
5. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en las variables altura y diámetro del tallo, hojas/planta y brotes/planta, para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	11
6. Efecto de la condición del suelo en la producción de caña de azúcar en las variables altura y diámetro del tallo, no. Hojas/planta y no. Brotes/planta, con una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados en el Ingenio Tres Valles, Honduras.....	12
7. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en las variables biomasa aérea, biomasa de tallo, biomasa de hoja y brix, para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	12
8. Efecto de la condición del suelo en el peso de biomasa aérea y de tallos del cultivo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	13
9. Efecto de la dosis de enmienda cálcica con melaza y levadura activada en la variable biomasa aérea, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	14
10. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en las variables contenido foliar de nitrógeno, fósforo potasio calcio y magnesio para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	14
11. Efecto de la variación del pH del suelo en la cantidad de fósforo en la biomasa foliar en el cultivo de caña de azúcar, en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	15
12. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la cantidad de potasio en las hojas del cultivo, en la evaluación como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	16
13. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en la variable resistencia a la penetración a diferentes profundidades al final del ciclo de cultivo, para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.....	16

14. Efecto de la condición del suelo en la resistencia a la penetración a diferentes profundidades en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	17
15. Resistencia a la penetración con su respectiva interpretación según colores en los suelos para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del ingenio tres valles.	17
16. Datos iniciales de las variables pH, C.O., M.O. y N _{total} de tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	18
17. Datos finales de las variables pH, C.O., M.O. y N _{total} de los tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	18
18. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) de las variables cambio pH, C.O., M.O. y N _{total} para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	19
19. Efecto de la condición del suelo en el cambio de pH, C.O., M.O. y N _{total} en el suelo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	20
20. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en el cambio en pH, para su evaluación como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	20
21. Datos iniciales de fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio presente en los tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	21
22. Datos finales de fósforo, potasio, calcio magnesio y sodio presente en los tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	21
23. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) de las variables cambio en las cantidades de potasio, calcio magnesio y sodio en el suelo para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	22
24. Efecto del tipo de suelo en el cambio de la cantidad de potasio, calcio, magnesio y sodio en el suelo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	23
25. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en el cambio de cantidades de calcio y magnesio en el suelo, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	23
26. Efecto del suelo y la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en el cambio de cantidad de magnesio en el suelo.	24

27. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) de las variables saturación de potasio, calcio, magnesio y PSI en el suelo para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	25
28. Efecto de la condición del suelo en la saturación de calcio, magnesio y sodio en el suelo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	25
29. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la saturación de calcio y magnesio en el suelo, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.	26

Figura	Página
1. Variables evaluadas. A: medición de la variable altura de la planta. B: hojas evaluadas sin cogollo ni hojas secas. C: medición del diámetro de tallo.	9

Anexos	Página
1. Extracción del suelo con maquinaria.	34
2. Extracción del suelo por horizontes.	34
3. Toma de datos de la resistencia a la penetración por horizonte.	35
4. Llenado de sacos con el suelo de cada horizonte.	35
5. Rotulado de sacos por horizontes y fincas.	36
6. Perfil del suelo de las fincas Llanos, Granadilla y Rapaco 2, respectivamente.	36
7. Transporte de los suelos en sacos hacia la eap, zamorano.	37
8. Suelos en sacos y barriles plásticos descargados en el módulo de conservación de suelos de la EAP Zamorano.	37
9. Instalación del proyecto evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras, finalizada.	37

1. INTRODUCCIÓN

El correcto manejo de las interacciones suelo, planta y ambiente son la clave para la obtención de una buena producción, independiente del cultivo (Verheye *et al.* 2009). El suelo es considerado como la base de la vida, sin embargo, no ha recibido la atención que se merece. La conservación de este recurso es de suma importancia, por lo que la recuperación de suelos afectados es clave (Bautista Cruz *et al.* 2004).

Para garantizar un diagnóstico de calidad se debe realizar análisis de suelo, tanto físico como químico, de esta forma determinar con certeza las problemáticas que existe en el suelo y proceder a realizar un plan de corrección (Homer y Parker 1997).

Generalmente, los agricultores se enfocan en corregir los déficits nutricionales del suelo en relación al cultivo en producción, generalmente sin tomar en cuenta la parte física de este. Los componentes físicos del suelo, como su textura y estructura, garantizan un buen drenaje, absorción de nutrientes, soporte, entre otros factores (Wischmeier y Smith 1978).

La estructura en un suelo tiene como objetivo permitir el equilibrio entre aire y agua, con lo que ayudará a eliminar los excesos de humedad entre sus partículas, por medio de un proceso de percolación. Cuando no existe un equilibrio, se manifiesta con la formación de terrones de gran tamaño, evitan que las raíces del cultivo crezcan adecuadamente (Guerra y Mendieta 2011).

La forma en que el suelo pierde su porosidad es a través de la compactación, que es una de las principales formas de degradación del mismo, lo que afecta su estructura y potencial productivo (Spaans y Nuñez 2006). La misma compactación dificulta el paso del agua a través del suelo o su infiltración, lo que aumenta la cantidad de agua superficial, genera escorrentía. Esta última es causante de erosión y pérdida del epipedón y arrastra materiales minerales y orgánicos (Porta y Acevedo 2005).

En el cultivo de caña de azúcar, al ser este de larga duración (cinco a ocho años), en muchos casos se usa riego por cintas de goteo subterráneas. De esa manera, se aprovecha fertilizar mediante este sistema de riego y las sales de los fertilizantes son diluidas en una solución con agua y enviado por el sistema de riego. La acumulación de sales en el bulbo húmedo del suelo genera una conductividad que deshace los agregados en el suelo, como consecuencia la relación aire agua ya no es la ideal, se crea una masificación (Eddy y Saneaki 2003). Además, el uso de maquinaria pesada para la cosecha de la caña de azúcar promueve la masificación de los suelos debido a su peso, frecuencia de paso, por las repeticiones por año (Laureda *et al.* 2015).

Una de las prácticas comunes realizadas en la agricultura es el subsoleo, el cual ayuda a corregir los problemas estructurales del suelo. Este rompe la estructura masificada del suelo, lo que le da un mejor estado (Márquez 2000). Según investigaciones hechas en la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV), al realizar la mecanización con subsolador la estructura sí es corregida, sin embargo, debido a que los problemas en los suelos de este tipo no son únicamente físicos sino también químicos, la corrección no es duradera (Zúñiga *et al.* 2011). En un cultivo como la caña de azúcar no es deseable llegar al punto de recurrir a una mecanización en un periodo corto de

tiempo, ya que la planta de caña de azúcar puede macollar y tener una duración de cinco años o más (Ramírez *et al.* 2011).

Las enmiendas del suelo o acondicionadores, son materiales capaces de provocar cambios en ciertas propiedades o características del suelo. Estas pueden enfocarse en mejoramiento de condiciones físicas y biológicas, y en correcciones de acidez. Cuando se habla de enmiendas mejoradoras físicas y biológicas se refiere a que los productos orgánicos, como los residuos vegetales, estiércol o compost, que, si son usados en grandes cantidades, mejorarán las condiciones de estructura del suelo, como su porosidad, capacidad de almacenamiento de agua, entre otros. Por esas características es que es considerado un acondicionador del suelo (Arévalo 2011).

Como añadidura a los problemas agrícolas presentados anteriormente, se puede decir que la escasez del recurso hídrico es considerada como un factor determinante para el fracaso de un proyecto agrícola. Esto es respaldado por estudios orientados a la correcta gestión del agua. Dichos estudios consideran como estrategia a seguir, la aplicación de enmiendas orgánicas como mejorador estructural del suelo (Rees y Wackernagel 2001).

Las características físicas aportadas con un tratamiento compuesto por yeso, humus y compost enriquecido con microorganismos (también conocidos como “Efective Microorganisms”, EM) a suelos degradados, se puede constatar que tienen factores potenciales como fertilizante; los cuales también son compatibles con la producción de cultivos agrícolas y mejoran el suelo de forma química, física y biológica (Mendoza 2009).

Al momento de buscar corregir el suelo, no se debe dejar por lado la importancia de los microorganismos que le dan vida a este. Se define a los microorganismos efectivos al grupo de especies microbianas cuya presencia y/o inoculación, adición en un suelo, mejoran su fertilidad, composición física, química, biológica y resistencia a los patógenos, entre otras (Rubio 2018). Se habla de varios tipos de microorganismos distintos, no de uno solo. El ecosistema del suelo es capaz de albergar varios tipos de microorganismos, pero no todos son capaces de potenciar el suelo con su presencia (Terry *et al.* 2005). A nivel comercial se ofrecen productos que contienen estos últimos tipos de microorganismos potenciadores.

Los microorganismos beneficiosos requieren carbono, como cualquier forma de vida en la tierra (Zeballos 2017). Estos son considerados un buen coctel de minerales y carbohidratos, la melaza. La melaza es una mezcla que contiene sacarosa, azúcar invertido, sales y otros compuestos solubles que normalmente están presentes en el jugo de caña de azúcar localizado, así como los formados durante el proceso de manufactura del azúcar (Fajardo y Sarmiento 2007). Se estima que añadir melaza al suelo junto a enmiendas hará la corrección aún más significativa.

El uso de microorganismo efectivos como parte de una enmienda en la agricultura, específicamente para la salud del suelo y el control de enfermedades en plantas, ha sido reportado por varios autores (Daly y Stewart 1999; Abdul y Abbasi 2006). Los microorganismos efectivos pueden ser considerado un líquido microbiano inoculante que contiene un cultivo surtido de microorganismos fermentativos beneficiosos, tales como bacterias de ácido láctico (*Lactobacillus spp*), levaduras (*Saccharomyces spp*), bacterias fotosintetizadoras (*Rhodospedomonas spp*), actinomicetes y hongos fermentativos (Higa 1996).

Se ha reportado que la aplicación de microorganismos efectivos resultó en una proliferación rápida de estos microorganismos benéficos y subsecuentemente en la supresión de microorganismos patógenos en el suelo. Además, dichos microorganismos beneficiosos fueron descritos con la habilidad de promover la mineralización de la materia orgánica presente en el suelo (Piyadasa *et al.* 1995), el cual es el mecanismo principal por el cual los microorganismos efectivos podrían beneficiar la salud del suelo y la nutrición de la planta.

Como parte del microbiota del suelo, se pueden encontrar un sin número de hongos, también conocidos como organismos descomponedores. Las levaduras del suelo forman parte de la comunidad de microorganismos descomponedores, las cuales tienen un papel importante en los ciclos de nutrientes y agregación del mismo suelo. Cuando se incorpora levadura al suelo, algunas de estas pueden promover el crecimiento vegetal, así como favorecer la micorrización por parte de hongos micorrícicos arbusculares y ectomicorrizas. Estos hongos benéficos para el desarrollo vegetal podrían ser utilizado como un biofertilizante (Mestre 2011).

Los objetivos de esta investigación fueron:

- Evaluar la efectividad de una enmienda cálcica con melaza e inoculación de levadura, para la mejora de suelos y el cultivo caña de azúcar de la Compañía Azucarera Tres Valles, Honduras.
- Evaluar el efecto de la enmienda como acondicionador del suelo para mejorar sus condiciones físicas y químicas.
- Evaluar el efecto del acondicionador del suelo en el cultivo de caña de azúcar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en tres suelos de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV), instalados en las parcelas del módulo de conservación de suelos ubicada en La Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Francisco Morazán, Honduras, a una latitud de 13.997719° y una longitud de -86.990294° , con una elevación de 760 msnm. La temperatura promedio es de 24.5°C . La duración del estudio abarcó desde enero a agosto de 2020. La precipitación anual promedio es de 1200 mm. La precipitación durante el experimento fue de 221.6 mm. Dicha precipitación se obtuvo durante los primeros ocho meses del año 2020 (Estación meteorológica Zamorano, Campus central 2020).

Se evaluaron tres suelos con pH variable: fuertemente ácido (finca Llanos, lote cuatro, pH = 5.05), ligeramente ácido (finca Rapaco 2, lote dos, pH = 6.1) y moderadamente básico (finca Granadilla, lote nueve, pH = 7.7), todos con condiciones de compactación o masificación, extraídos de Compañía Azucarera Tres Valles (CATV), ubicada en la aldea El Porvenir, Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras. La identificación de las condiciones de pH de estos suelos fue realizada por el centro de investigaciones e información del ingenio azucarero Tres Valles, Honduras.

Para determinar la ubicación de suelos disturbados, se consultó la base de datos de la Compañía Azucarera Tres Valles, Honduras, donde se identificaron los lotes con suelos degradados, es decir, un lote con suelo de pH ácido a fuertemente ácido, un lote con suelo de pH ligeramente ácido y un suelo de pH moderadamente básico. Una vez identificadas las áreas con estos suelos se evaluó la compactación, por medio de un penetrómetro de campo llamado "Soil Compactation Tester". Al penetrómetro se le incorporó la punta de 1.91 cm^2 , lo que estableció que se guiara las lecturas según la escala mostrada en el Cuadro 1, basada en el manual de uso del mismo instrumento (Agratronix 2015). Se llevó a cabo una lectura de calicata en cada lote. Fue necesaria una retroexcavadora para abrir las calicatas, lo que facilitó la identificación de horizontes.

El experimento se llevó a cabo de manera controlada, al trasladar los suelos a barriles establecidos en la EAP, Zamorano, donde se replicó las condiciones de los suelos en un sistema de maceteros aleatorios. De esta forma se tuvo una mejor supervisión y manejo del estudio, donde se aplicaron los tratamientos necesarios y se llevó a cabo la toma de datos.

Extracción del suelo

Todos los suelos se trasladaron a la EAP, Zamorano, específicamente al módulo de Conservación de Suelos. Debido a la inclinación del terreno, se niveló el suelo con un azadón. Los barriles fueron rotulados para facilitar el llenado con el suelo (con el cuidado de replicar la sucesión correcta de los horizontes identificados en campo), distribución de tratamientos y las tomas de datos.

Al momento del establecimiento del proyecto, se sacaron muestras de cada horizonte de los tres suelos identificados en la Compañía Azucarera Tres Valles, para luego ser sometidos a un proceso de determinación de la textura de los suelos mediante el método organoléptico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de las características físicas de los tres tipos de suelos de la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV), Honduras.

Finca	pH [¥]	Hori. [¥]	Prof. (cm) [¥]	Color en seco		Color en húmedo		Textura	RP (kg/cm ²) [¥]
Llanos	Fuert. Ácido (5.05)	Ap	00 - 44	10YR 5/3	Pardo	10YR 3/3	Pardo oscuro	Franco arcillosa	18.3
		Bw	44 - 66	10YR 7/2	Gris claro	10YR 6/3	Pardo pálido	Arcillo limosa	14.1
		C	66 - 108x	10YR 7/6	Amarillento	10YR 5/6	Pardo amarillento	Arcillo arenosa	10.6
Rapaco 2	Lig. Ácidos (6.1)	Ap	00- 30	10YR 5/4	Pardo amarillento	10YR 4/3	Pardo	Franca	16.9
		C	30 -53	7.5YR 5/2	Pardo	7.5YR 5/1	Gris	Franco arcillosa	17.6
		C2	53 - 83x	7.5YR 6/6	Amarillo rojizo	7.5YR 4/6	Pardo negro	Arcillosa ⁻	21.1
Granadilla	Mod. Básico (7.7)	Ap	00 -35	10YR 5/2	Pardo grisáceo	10YR 4/3	Brown	Arcillosa ⁻	13.4
		Bw	35 -53	7.5YR 6/4	Pardo claro	7.5YR 4/6	Pardo negro	Arcillosa ⁺	18.3
		Bw2	53 -94	7.5YR 6/6	Amarillo rojizo	7.5YR 4/6	Pardo negro	Arcillo limosa	21.8
		C	94 - 144x	7.5YR 5/8	Pardo negro	7.5YR 5/6	Pardo negro	Arcillo limosa	21.8

[¥]pH: pH característico. [¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente. [¥]Hori: horizonte. [¥]Prof: profundidad. [¥]RP: Resistencia a la penetración.

Cuadro 2. Resistencia a la penetración con su respectiva interpretación según colores en los suelos del Ingenio Tres Valles.

Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Interpretación
<14.1	Ideal
14.2 a 21.1	Restringido
>21.2	Compacto

(Agratronix 2015)

Establecimiento

Los barriles se llenaron con el suelo extraído de los lotes del Compañía Azucarera Tres Valles, con el cuidado de replicar la sucesión de horizontes como estaban en el campo, en cada barril el orden de llenado de los barriles, donde se tomó en cuenta la secuencia de cada horizonte identificado anteriormente en campo. Al llenar los barriles se procedió a simular la compactación encontrada en campo en cada horizonte con ayuda de un apisonador de hierro.

Se procedió a trasplantar las plántulas suministradas por la Compañía Azucarera Tres Valles, que tenían una altura aproximada de 40 cm. Se colocaron tres plántulas por barril. Para garantizar un distanciamiento uniforme y óptimo entre las plántulas, se utilizó un marcador metálico para ahoyar y designar el lugar donde deberían ir trasplantadas las plántulas. Luego se procedió a fertilizar con la aplicación de siete gramos por plántula del fertilizante Microessentials (12-40-0-10S-1Zn). Se volvió a realizar una fertilización, cinco semanas antes de la cosecha de la caña de azúcar, de 103.4 kg/ha de Urea, 20.5 kg/ha de MAP y 251.4 kg/ha de KCl. Se mantuvo un nivel bajo de fertilización para que se expresara el efecto de la enmienda. La fertilización fue equivalente a N-57, P-14.5, K-125, S-5.6 y Zn-0.6.

Enmienda cálcica

Estuvo constituida por yeso marca conocido comercialmente como Redox (20-28% Ca, 10-12% S) acompañadas con melaza y levadura activada. Los tamaños de las partículas del yeso utilizado para la agricultura pueden variar entre < 0.5 a 0.5 mm, lo que es considerado un yeso de alta finura (Mohamed *et al.* 2015). El yeso fue aplicado mezclándolo con el equivalente aproximado de 112,000 L/ha de agua. Se vertió la mezcla correspondiente en cada barril e incorporándolo con el suelo (de siete a 10 cm de profundidad). La melaza y la levadura activada se aplicaron de igual forma en 112,000 L/ha de agua, incorporándolo en cada barril correspondiente.

Cultivo de levaduras

Se cultivó levadura basado en el método descrito por Santacruz 2019 y modificado en la Compañía Azucarera Tres Valles (CATV) de la siguiente forma:

Solución madre. Se utilizó cachaza compostada como fuente de materia orgánica. Se colocaron 4.5 kg de cachaza mezclados en 10 litros de agua y un litro de melaza. Se dejó reposar la mezcla por tres horas, luego se coló y se extrajo sólo la parte líquida para su uso. Se obtuvieron aproximadamente nueve litros y a partir de ella se realizaron dos soluciones:

Solución 1. se colocaron cuatro litros de la solución madre en un bidón junto a seis litros de suero de leche, un litro de melaza, 250 g de levadura y 500 g de urea.

Solución 2. se colocaron cuatro litros de la solución madre en un bidón junto a seis litros de agua, un litro de melaza, 250 g de levadura y 500 g de urea.

Ambas soluciones se dejaron reposar por tres días. Se liberó periódicamente el CO₂ producido destapando el bidón. Luego del reposo, se extrajeron dos litros de cada solución en recipientes separados para facilitar su movilización al campo.

Una vez en campo, se procedió a medir con una probeta 10 mL de la solución 1, 10 mL de la solución 2 y cinco mL de melaza. Esto fue vertido en un recipiente plástico junto a tres litros de agua. La solución obtenida se aplicó 25 mL por barril de manera superficial, equivalente a una dosis de 82.3 L/ha. Cabe recalcar que la incorporación de las soluciones 1 y 2 aportó un mL adicional de melaza a la aplicación del tratamiento, para un total de seis mL de melaza aplicada por barril o 224 L/ha.

Tratamientos

Los tratamientos de este proyecto fueron la aplicación de dosis altas, medias y bajas de yeso. La aplicación de los tratamientos se realizó según la dosis de yeso que correspondía a cada barril, ya sea alta, media o baja. La dosis de yeso se mezcló en tres litros de agua y se aplicó al suelo de cada barril, exceptuando los sin aplicación.

El yeso, fue suministrado por parte de la Compañía Azucarero Tres Valles. La cantidad de yeso a aplicar se determinó a partir de las dosis alta, media, baja y Sin aplicación utilizadas en el ingenio para tratamientos en campo, 3.8, 2.2, 0.7 y 0 t/ha, respectivamente.

La distribución de tratamientos se muestra en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Descripción de las dosis aplicadas para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Dosis	Yeso (t/ha)	Melaza (L/ha)	SL (L/ha)[¥]
Alta	3.8	329.2	82.3
Media	2.2	329.2	82.3
Baja	0.7	329.2	82.3
Sin aplicación	0	0	0

[¥]SL: Solución con levadura activada.

Cuadro 4. Distribución de los tratamientos aplicados y especificación de cada uno para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelo [¥]	Dosis	Enmienda		
		Yeso	Melaza (L/ha)	SL (L/ha) [¥]
Fuert. Ácido	Alta	3.8	329.2	82.3
	Media	2.2	329.2	82.3
	Baja	0.7	329.2	82.3
	Sin aplicación	0	0	0
Lig. Ácido	Alta	3.8	329.2	82.3
	Media	2.2	329.2	82.3
	Baja	0.7	329.2	82.3
	Sin aplicación	0	0	0
Mod. Básico	Alta	3.8	329.2	82.3
	Media	2.2	329.2	82.3
	Baja	0.7	329.2	82.3
	Sin aplicación	0	0	0

[¥]Fuert: fuertemente. Lig.: Ligeramente. Mod: moderadamente.

[¥]SL: Solución con levadura activada.

Variables evaluadas en el suelo

Características físicas. Por horizonte fueron: textura y resistencia a la penetración. Estas se midieron en el macetero y se hizo de manera contrastante, entre los datos de las muestras obtenidas al inicio del establecimiento del proyecto, con las medidas tomadas al finalizar el estudio. Estas variables se midieron de la siguiente forma:

Textura. Se secó cada muestra de horizonte de cada tipo de suelo, luego se trituró para facilitar determinar la textura del suelo por el método organoléptico. Además, se identificó el color del suelo en seco y en húmedo.

Resistencia a la Penetración (RP). Se introdujo un penetrómetro de campo “Compactation Meter” en cada barril donde se midió la resistencia a la penetración a diferentes profundidades: cero a ocho cm, nueve a 24 cm, 25 a 40 cm y 41 a 56 cm. De esta forma se logró comparar el cambio en resistencias y la eficacia del tratamiento aplicado.

Características químicas. Las características químicas son carbono orgánico, materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio. Se calculó la saturación de bases para determinar el nivel de fertilidad del suelo. Estas variables se midieron en el primer horizonte de cada tipo de suelo. Se extrajo una muestra de suelo de estos horizontes y se envió al Laboratorio de suelos ubicado en Zamorano junto a las muestras tomadas del suelo en su estado inicial, para realizar una comparación del estado inicial con el final.

Variables evaluadas en el cultivo

Altura del tallo. Se utilizó una regla graduada desde un cm hasta 110 cm, se midió cada planta desde el comienzo del tallo hasta el final de esta (Figura 1), se anotó la altura de las tres plantas por barril y se sacó un promedio de estos datos.

Cantidad de hoja por planta. El conteo de las hojas de la planta se realizó de abajo hacia arriba, sin tomar en cuenta las hojas que ya están secas y el cogollo (Figura 1). Se sacó el promedio de la cantidad de hojas de las tres plantas por barril.

Diámetro de la planta. Se utilizó un medidor de diámetro o pie de rey, ubicándose en el centro del tercer entre nudo de la planta (Figura 1). Se sacó un promedio de las mediciones de las tres plantas.

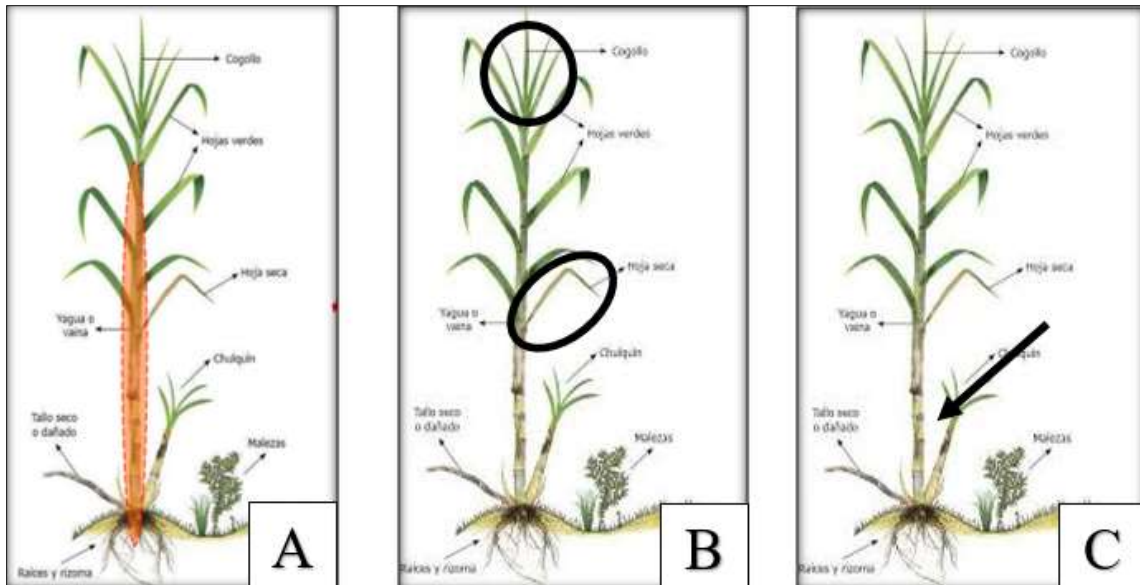


Figura 1. Variables evaluadas. A: medición de la variable altura de la planta. B: hojas evaluadas sin cogollo ni hojas secas. C: medición del diámetro de tallo.

Fuente imagen A, B y C (Cenicaña 2008).

Número de brotes por planta. Se contó la cantidad de brotes de cada planta por barril. Se sacó el promedio por barril.

Biomasa aérea. Esta biomasa se refiere a la parte superficial de la planta, es decir, el tallo con las hojas. Se cosechó la caña de azúcar y se pesó la parte foliar en húmedo de cada planta por barril. Se utilizó una báscula, a su vez se tomó los datos de cada tratamiento.

Biomasa de los tallos. Se cortó las hojas de cada planta de caña de azúcar, de esa forma se pudo calcular el peso de los tallos por barril.

Biomasa de las hojas. Se restó del peso total de las plantas por barril (biomasa aérea) con el peso total de los tallos por barril (biomasa tallo).

Grados brix (%). De la caña de azúcar cosechada, se extrajo gotas de jugo para medir los grados brix. Se utilizó un refractómetro de campo “Extech Instruments”.

Análisis foliar. Se tomaron muestras de hojas de la parte media de la planta de cada tratamiento, eliminando la parte terminal de la hoja, conservando la parte media y proximal. Dichas muestras se tomaron cinco semanas antes de la cosecha. Se enviaron al laboratorio de suelos, en la EAP Zamorano, para determinar la cantidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los métodos utilizados fueron los siguientes: N: AOAC 2001.11. K, Ca, Mg: Digestión húmeda con H₂SO₄ y H₂O₂, determinados por Absorción atómica. P: Digestión húmeda con H₂SO₄ y H₂O₂, determinado por espectrofotometría (colorimetría).

Para extrapolar los datos a cada tratamiento con su repetición, se realizó una conversión de los datos obtenidos del laboratorio de suelo, gramos de nutriente/100 gramos de hoja, a gramos de nutrientes/ gramo de hoja, esto permitió multiplicar el peso total de hojas obtenido en cada tratamiento (gramos de hojas/ barril) por sus repeticiones correspondientes. De esta forma se pudo determinar la cantidad de gramos de nutriente total concentrado en la hoja por barril.

Diseño experimental

El diseño experimental consistió en bloques completos al azar con 12 tratamientos con arreglo factorial con tres suelos, cuatro dosis de acondicionador de suelos y su interacción. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones. La unidad experimental consistió en un barril (208.198 litros, dimensiones: 58.42 × 58.42 × 88.9 cm) con suelo, trasladado desde campo y en cada uno se trasplantaron tres plántulas de caña de azúcar. La unidad observacional fueron tres plantas y el suelo, por unidad experimental.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el programa estadístico InfoStat versión 2020. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), una separación de medias Duncan para evaluar el efecto de los factores individualmente, para diferenciar el efecto según el tipo de suelo, la dosis aplicada y la interacción de ambos (suelo × dosis) en conjunto con cada una de las variables.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la calidad del suelo y la dosis de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la altura y diámetro del tallo, número de hojas y brotes por planta en el cultivo de caña de azúcar

Se obtuvieron diferencias muy significativas ($P < 0.01$ a 0.0001) y significativas ($P \leq 0.05$) únicamente para el factor suelo en las variables altura del tallo ($P = 0.005$), diámetro del tallo ($P = 0.0002$), número de hojas por planta ($P = 0.0017$), número de brotes por planta ($P = 0.0162$) (Cuadro 5). Esto indica que la diferencia entre suelos generó efecto en el cultivo, no así la dosis de enmienda, ya que el efecto de estos factores es independiente, porque no hay respuesta a la interacción suelo \times dosis y se discuten individualmente.

Cuadro 5. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en las variables altura y diámetro del tallo, hojas/planta y brotes/planta, para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Factores	Altura del tallo		Diámetro del tallo		No. Hojas/planta		No. Brotes/planta	
Suelo	0.005	**	0.0002	**	0.0017	**	0.016	*
Dosis	0.74	ns	0.12	ns	0.95	ns	0.82	ns
Suelo\timesDosis	0.24	ns	0.81	ns	0.29	ns	0.97	ns
R²	0.49		0.62		0.51		0.33	
CV	12.9		9.0		8.7		30.7	

*** Diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), ** Muy significativos ($P < 0.01$ a 0.0001), * Significativa ($P \leq 0.05$), ns: No significativo.

El cultivo mostró un efecto favorable en su desarrollo en suelos de pH ligeramente ácido (pH 6.1) y moderadamente básico (pH 7.7), comparado a cuando se siembra en suelos con pH fuertemente ácido (pH 5.05), ya que las variables evaluadas altura y diámetro del tallo, número de hojas por planta y número de brotes por planta siempre fueron estadísticamente mayores ($P < 0.016$) en estos suelos (Cuadro 6). Los suelos de pH moderadamente básicos tienen una mayor disponibilidad de macronutrientes lo cual favorece al cultivo, sin embargo, dependiendo del pH hacia basicidad se genera acumulaciones de calcio y otras bases como magnesio, no así de micronutrientes, que a ese pH no son disponibles. La acidificación de los suelos reduce el crecimiento de las plantas, por la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como calcio, magnesio, potasio y fósforo, lo que favorece la solubilidad de elementos tóxicos en el suelo, perjudicando las plantas, estos elementos pueden ser el aluminio y manganeso (Rivera *et al.* 2018).

Cuadro 6. Efecto de la condición del suelo en la producción de caña de azúcar en las variables altura y diámetro del tallo, No. hojas/planta y No. brotes/planta, con una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados en el Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [‡]	Altura del tallo (cm)	Diámetro del tallo (cm)	No. Hojas/planta	No. Brotes/planta
Fuert. Ácido	92.1 b	2.6 b	7.7 b	3.4 b
Lig. Ácido	110.1 a	3.1 a	8.7 a	4.7 a
Mod. Básico	108.7 a	3.1 a	8.7 a	4.9 a
P-valor	0.005	0.0002	0.0017	0.016
R²	0.49	0.62	0.51	0.33
CV	12.90	9.00	8.70	30.70

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[‡]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

Efecto de la calidad del suelo y la dosis de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la biomasa aérea, foliar y del tallo y grados brix en el cultivo de caña de azúcar

La diferencia de pH entre suelos generó diferencias en las variables biomasa aérea y de tallo. Se mostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) del factor suelo en biomasa aérea y del tallo ($P < 0.0001$). La biomasa aérea mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el factor dosis ($P = 0.0196$). Las variables biomasa de hoja y brix no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) para ninguno de los factores (Cuadro 7).

La diferencia de dosis de enmienda generó diferencias en la variable biomasa aérea ($P < 0.02$). El efecto de estos factores es independiente, ya que no hay respuesta a la interacción y se discuten individualmente.

Cuadro 7. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en las variables biomasa aérea, biomasa de tallo, biomasa de hoja y Brix, para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Factores	Biomasa aérea		Biomasa de tallo		Biomasa de hoja		Brix	
Suelo	<0.0001	***	<0.0001	***	0.11	ns	0.16	ns
Dosis	0.0196	*	0.31	ns	0.11	ns	0.19	ns
Suelo × Dosis	0.49	ns	0.29	ns	0.25	ns	0.21	ns
R²	0.76		0.73		0.46		0.43	
CV	19.35		26.8		53.4		11.6	

***Diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), **Muy significativos ($P 0.01$ a 0.0001),

*Significativa ($P \leq 0.05$), ns: no significativo.

El cultivo mostró un efecto beneficioso en su desarrollo foliar en los suelos ligeramente ácidos (pH = 6.1) y en los suelos moderadamente básicos (pH = 7.7) en comparación al desarrollo obtenido en los suelos fuertemente ácidos (pH = 5.05), ambas variables, biomasa aérea y de tallos, fueron

estadísticamente superiores en estos suelos ($P < 0.0001$) (Cuadro 8). Este efecto se pudo deber a toxicidad en el suelo por aluminio. Normalmente la toxicidad por aluminio es el principal factor, con efectos directos en el metabolismo de las plantas, lo que causa una interferencia con la transferencia de iones y agua a través de las membranas celulares de la raíz, así obstruyendo la alimentación de nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Rivera *et al.* 2018).

Cuadro 8. Efecto de la condición del suelo en el peso de biomasa aérea y de tallos del cultivo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [‡]	Biomasa aérea (t/ha)		Biomasa de tallos (t/ha)	
Fuert. Ácido	93.3	b	45.9	b
Lig. Ácido	175.4	a	103.0	a
Mod. Básico	156.8	a	105.3	a
P-valor	<0.0001		<0.0001	
R²	0.76		0.73	
CV	19.35		26.8	

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[‡]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la biomasa aérea en el cultivo caña de azúcar

El cultivo mostró un efecto provechoso en el desarrollo foliar, representado en biomasa aérea cuando se le aplicó la dosis alta y baja en comparación a sin aplicación. La dosis media no presentó un efecto con diferencias estadísticas comparado con la dosis alta, baja y sin aplicación (Cuadro 9). Este efecto positivo se pudo deber a que las dosis se diferenciaban entre sí solo en cuanto a la cantidad de yeso. La cantidad de melaza con levadura fue la misma para las dosis alta, media y baja. La dosis sin aplicación no contenía ninguna de las soluciones antes mencionadas. Al aplicarse melaza al suelo ésta, puede potenciar la actividad de los microorganismos nativos, como las levaduras, ya presentes en dichos suelos. La relación carbono/nitrógeno es un aspecto que influye notoriamente la actividad microbiana, por lo que la aplicación de melaza como fuente de carbono es oportuna. La aplicación de levadura activada de manera exógena se debe realizar cuidadosamente, tomando en cuenta el contexto microbiológico de los suelos de la finca a tratar, ya que dicha aplicación podría provocar una descompensación microbiológica del suelo, como en la sustentabilidad de la fertilidad del mismo (Sanclemente *et al.* 2011). Además, el uso de la melaza en condiciones adecuadas potencialmente puede incrementar los rendimientos del cultivo (Gómez *et al.* 2004).

Cuadro 9. Efecto de la dosis de enmienda cálcica con melaza y levadura activada en la variable biomasa aérea, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Dosis [‡]	Yeso (t/ha)	Biomasa aérea (t/ha)
Alta	3.8	140.7 a
Media	2.2	133.3 ab
Baja	0.7	163.0 a
Sin aplicación	0	122.2 b
P-valor		0.0196
R²		0.76
CV		19.35

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[‡]Contenido de las dosis, exceptuando el Sin aplicación: Melaza 329.2 y Solución de Levadura activada: 82.3 t/ha.

Efecto de la calidad del suelo y la dosis de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la cantidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio concentrado en las hojas del cultivo de caña de azúcar

El fósforo mostró diferencias significativas ($P = 0.0455$) únicamente para el factor suelo. El potasio mostró diferencias muy significativas ($P = 0.0013$) únicamente en el factor dosis. Los demás nutrientes (nitrógeno, calcio y magnesio) no mostraron diferencias en ninguno de los factores (Cuadro 10). Esto indica que la diferencia química entre suelos generó diferencias en la cantidad de fósforo concentrado en las hojas del cultivo, con un R^2 de 0.51, por lo cual hay que tomar este resultado con cautela. Por otra parte, la diferencia de dosis de enmienda generó diferencias significativas únicamente en la cantidad de potasio concentrado foliarmente. El efecto de los factores suelo y dosis de la enmienda es independiente, ya que no hay respuesta a su interacción y se discuten individualmente.

Cuadro 10. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en las variables contenido foliar de nitrógeno, fósforo potasio calcio y magnesio para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Factores	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio	
Suelo	0.060	ns	0.046	*	0.3219	ns	0.2576	ns	0.3982	ns
Dosis	0.076	ns	0.078	ns	0.0013	**	0.1263	ns	0.4772	ns
Suelo×Dosis	0.264	ns	0.148	ns	0.1255	ns	0.2734	ns	0.1258	ns
R²	0.48		0.51		0.64		0.42		0.40	
CV	54.47		53.26		56.93		58.44		50.27	

***Diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), **Muy significativos ($P 0.01$ a 0.0001),

*Significativa ($P \leq 0.05$), ns: No significativo.

El cultivo mostró una ligera tendencia favorable en cuanto a la cantidad de fósforo encontrado en las hojas con relación al tipo de suelo, donde los suelos ligeramente ácidos ($pH = 6.1$) tuvieron una

mejor absorción de este macronutriente en comparación a los suelos fuertemente ácidos (pH = 5.05). En los suelos moderadamente básicos (pH = 7.7) no hubo diferencias estadísticas en el contenido foliar de fósforo (Cuadro 11). Un suelo ácido normalmente presenta toxicidad por aluminio lo que puede generar interferencias con la transferencia de iones y agua a través de las membranas celulares de la raíz, lo que evita que la planta obtenga sus nutrientes necesarios para su desarrollo (Rivera *et al.* 2018). La mineralogía o tipo de arcilla presente en los suelos está estrechamente relacionado a la fijación de nutrientes como el fósforo y potasio; el contenido de arenas y limos en conjunto a las arcillas muestra que hay una relación con el poder de fijación del suelo (Mengel y Kirkby 2000). La fertilidad de los suelos no depende directamente de su composición química, esta depende también de las características físicas presentes en el suelo, heredadas por el material parental (Arévalo 2011).

Cuadro 11. Efecto de la variación del pH del suelo en la cantidad de fósforo en la biomasa foliar en el cultivo de caña de azúcar, en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [‡]	Fósforo (g/hojas por planta)
Fuert. Ácido	1.90 b
Lig. Ácido	3.31 a
Mod. Básico	2.32 ab
P-valor	0.046
R²	0.51
CV	53.26

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[‡] Fuert: fuertemente, Lig: ligeramente, Mod: moderadamente.

Efecto de la dosis de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la cantidad de potasio en las hojas de caña de azúcar

El cultivo mostró efecto beneficioso en la cantidad de potasio encontrado en sus hojas, siendo la dosis baja y sin aplicación las que mostraron una mejor absorción de este macronutriente, en comparación al efecto presentado por las dosis alta y media (Cuadro 12). Comúnmente se pueden encontrar condiciones de fijación de potasio en los suelos, cuya mineralogía contiene en su mayoría arcillas illitas y esmectitas. Las fuentes de potasio provenientes de fertilizantes suelen ocupar primero los espacios interlaminares de estos minerales antes mencionados. Este efecto de fijación puede deberse a la humedad y el pH del suelo. En un suelo con humedad baja o seco puede tener más fijación de potasio. Los suelos con pH altos aumentan la posibilidad de tener fijación de potasio (Conti 2004). Por otro lado, este efecto se puede deber al efecto antagónico entre el calcio con el potasio. Debido a las altas cantidades de calcio aplicadas con las dosis alta y media, pudo haber una relación antagónica entre este macronutriente y el potasio, disminuyendo la disponibilidad para la planta (Mulder 1953).

Cuadro 12. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la cantidad de potasio en las hojas del cultivo, en la evaluación como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Dosis [‡]	Yeso (t/ha)	Potasio g/planta
Alta	3.8	10.8 b
Media	2.2	11.5 b
Baja	0.7	30.4 a
Sin aplicación	0	26.0 a
P-valor		0.005
R²		0.64
CV		12.9

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[‡]Contenido de las dosis, exceptuando el Sin aplicación: Melaza 329.2 y Solución de Levadura activada: 82.3 t/ha.

Efecto de la calidad del suelo en la resistencia a la penetración con la aplicación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura

La resistencia a la penetración en la profundidad 41 a 56 cm mostró diferencias muy significativas ($P 0.01$ a 0.0001) únicamente para el factor suelo 41 a 56 cm ($P = 0.0023$). En el nivel superficial de 0 a 8 cm no hubo diferencia significativa en ninguno de los factores ($P > 0.05$) y a las profundidades 09 a 24 y 25 a 40 el R^2 fue muy bajo (< 0.5) por lo que no se acepta la tendencia (Cuadro 13). El efecto de estos factores es independiente, ya que no hay respuesta a la interacción y se discuten individualmente.

Cuadro 13. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) en la variable resistencia a la penetración a diferentes profundidades al final del ciclo de cultivo, para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Factores	Resistencia a la penetración según profundidad							
	0-08 cm		09-24 cm		25-40 cm		41-56 cm	
Suelo	0.41	ns	0.04	*	0.0062	**	0.0023	**
Dosis	0.69	ns	0.24	ns	0.58	ns	0.70	ns
Suelo × Dosis	0.54	ns	0.44	ns	0.3	ns	0.16	ns
R²	0.26		0.42		0.48		0.54	
CV	33.7		49.6		48.9		49.2	

***Diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), **Muy significativos ($P 0.01$ a 0.0001), *Significativa ($P \leq 0.05$), ns: No significativo.

El suelo mostró una tendencia a la disminución de la resistencia a la penetración, al comparar la condición inicial del suelo con los datos obtenidos al finalizar el cultivo en el horizonte de 45 a 56 cm de profundidad (Cuadro 14). La mejora de la disminución de la resistencia a la penetración se pudo deber a la forma de instalación del proyecto, el cual consistió colocar distintos tipos de suelos

en barriles plásticos. La instalación del cultivo en barriles plásticos no permitió que el agua se infiltrara de manera correcta en el suelo, propiciando que el agua fluyera por espacios creados entre el suelo y la pared del barril. Las diferentes texturas de los suelos generaron una diferencia significativa entre los suelos fuertemente ácidos y moderadamente básicos comparados con los suelos ligeramente ácidos, ya que estos dos primeros tenían texturas donde predominaba la arcilla. La presencia de altas cantidades de arcillas en la textura del suelo puede hacer que este se expanda y/o contraiga cuando se presentan cambios en su humedad, llegando a fragmentarse en condiciones de poca humedad (Hossne 2007).

Cuadro 14. Efecto de la condición del suelo en la resistencia a la penetración a diferentes profundidades en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [¥]	RP según profundidad (kg/cm ²)							
	(i) [¥]	00-08cm	(i) [¥]	09-24cm	(i) [¥]	25-40cm	(i) [¥]	41-56cm
Fuert. Ácido	2.5	1.2	2.5	0.8	3.4	1.8	2.9	1.8
Lig. Ácido	2.3	1.5	2.4	1.3	3.4	2.7	2.9	2.8
Mod. Básico	1.9	1.4	2.5	0.9	3.4	1.3	3.0	1.2
P-valor	0.41		0.046		0.0062		0.0023	
R²	0.26		0.42		0.48		0.54	
CV	33.7		49.59		48.85		49.19	

[¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

[¥](i): condición inicial del suelo.

Cuadro 15. Resistencia a la penetración con su respectiva interpretación según colores en los suelos para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles.

Resistencia a la penetración (kg/cm ²)	Interpretación
1.96	Ideal
1.97 a 2.93	Restrictivo
>2.94	Compacto

(Agratronix 2015)

Efecto de la calidad del suelo y las dosis de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en el cambio de pH, C.O., M.O., nitrógeno total y fósforo en el suelo en la producción de caña de azúcar

Se realizó un análisis de suelo a el primer horizonte de los tres tipos de suelos utilizados en el estudio, en donde se estimó el pH, la cantidad de C.O., M.O., nitrógeno total y fósforo en el suelo.

De esta forma se pudo calcular el cambio que hubo en las cantidades de los nutrientes antes mencionados, restando los datos iniciales (Cuadro 16) con los resultados finales (Cuadro 17) del suelo.

Cuadro 16. Datos iniciales de las variables pH, C.O., M.O. y N_{total} de tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [¥]	pH	g/100g		
		C.O. [¥]	M.O. [¥]	N _{total} [¥]
Fuert. Ácido	5.05	1.44	2.48	0.12
Lig. Ácido	6.10	0.94	1.62	0.08
Mod. Básico	7.70	0.60	1.03	0.05

[¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

[¥]C.O.: carbono orgánico, [¥]M.O.: materia orgánica, [¥]N_{total}: nitrógeno total.

Cuadro 17. Datos finales de las variables pH, C.O., M.O. y N_{total} de los tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [¥]	pH	g/100g		
		C.O. [¥]	M.O. [¥]	N _{total} [¥]
Fuert. Ácido	5.45	1.26	2.17	0.11
Lig. Ácido	5.53	1.02	1.76	0.09
Mod. Básico	6.54	1.09	1.88	0.09

[¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

[¥]C.O.: carbono orgánico, [¥]M.O.: materia orgánica, [¥]N_{total}: nitrógeno total.

Se mostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) para el factor suelo: cambio pH ($P < 0.0001$), C.O. ($P < 0.0001$), M.O., ($P < 0.0001$) y nitrógeno total ($P < 0.0001$). La variable cambio pH mostró diferencias significativas en el factor dosis ($P = 0.0327$). Las variables C.O., M.O. y nitrógeno total mostraron diferencias muy significativas en la interacción de ambos factores suelo y dosis: C.O. ($P = 0.0042$), M.O. ($P = 0.0039$) y nitrógeno total ($P = 0.0069$) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) de las variables cambio pH, C.O., M.O. y N_{total} para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Factores	Cambio en pH	Cambio g/100g					
		C.O. [¥]		M.O. [¥]		N_{total} [¥]	
Suelo	<0.0001 ***	<0.0001 ***	<0.0001 ***	<0.0001 ***	<0.0001 ***	<0.0001 ***	<0.0001 ***
Dosis	0.0327 *	0.0854 ns	0.0854 ns	0.0818 ns	0.0818 ns	0.1195 Ns	0.1195 Ns
Suelo×Dosis	0.8279 ns	0.0042 **	0.0042 **	0.0039 **	0.0039 **	0.0069 **	0.0069 **
R²	0.88	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90
CV	66	122	122	121	121	129	129

***Diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), **Muy significativos ($P 0.01$ a 0.0001), *Significativa ($P \leq 0.05$), ns: No significativo.

¥C.O.: carbono orgánico, ¥M.O.: materia orgánica, ¥N total: nitrógeno total.

El tipo de suelo generó un efecto significativo en cuanto al cambio de pH; los suelos fuertemente ácidos ($pH = 5.05$) bajaron un promedio de 0.4 unidades de su pH, los suelos ligeramente ácidos ($pH = 6.1$) subieron un promedio de 0.57 unidades de su pH y los suelos moderadamente básicos ($pH = 7.7$) subieron un promedio de 1.16 unidades de su pH. El tipo de suelo mostró un efecto significativo en el cambio de C.O., M.O. y nitrógeno total, donde los suelos ligeramente ácidos ($pH = 6.1$) mostraron un incremento de estas variables en comparación a los suelos fuertemente ácido ($pH = 5.05$) y moderadamente básicos ($pH = 7.7$), (Cuadro 19). El cambio en el pH se pudo deber a la distinta capacidad tampón de cada suelo, ya que esta se define como la cantidad de ácido o base necesario para modificar una unidad de pH (Rowell 1994). La capacidad tampón varía según el tipo de suelo. Se han establecido que los causantes de estas variaciones pueden ser el material parental, el contenido y tipo de arcillas, contenido de materia orgánica y la presencia de óxidos ferrosos y aluminio (Fassbender 1987). Las variables C.O., M.O. y N_{total} están directamente relacionadas entre sí, por lo que su diferencia significativa según el tipo de suelo se pudo deber a las diferencias de riqueza orgánica presente en el primer horizonte de cada uno de estos suelos, también relacionada al pH de estos. Las levaduras activadas, al encontrarse en condiciones de pH extremas, tienden a aumentar su población debido a la necesidad de reproducirse antes de morir, esto aumenta el consumo de materia orgánica y nitrógeno presente en el suelo, por lo cual se mostró una disminución de la cantidad inicial de C.O., M.O. y N_{total} en los suelos fuertemente ácidos ($pH = 5.05$) y moderadamente básicos ($pH = 7.7$) en comparación a los suelos ligeramente ácidos ($pH = 6.1$) donde hubo un aumento debido a la activación de la melaza sobre los microorganismos nativos del suelo, como lo son las levaduras (Revelo *et al.* 2015).

Cuadro 19. Efecto de la condición del suelo en el cambio de pH, C.O., M.O. y N_{total} en el suelo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [¥]	Cambio en pH	Cambio g/100g		
		C.O. [¥]	M.O. [¥]	N _{total} [¥]
Fuert. Ácido	-0.40 c	-0.32 b	-0.55 b	-0.03 b
Lig. Ácido	0.57 b	0.41 a	0.71 a	0.04 a
Mod. Básico	1.16 a	-0.49 c	-0.85 c	-0.04 c
P-valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
R²	0.88	0.91	0.91	0.90
CV	66.34	122	121	129

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa (P > 0.05).

[¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

[¥]C.O.: carbono orgánico. [¥]M.O.: materia orgánica. [¥]N_{total}: nitrógeno total.

El suelo mostró un efecto significativo en cuanto al cambio de su pH en relación a la dosis de enmienda aplicada, en donde se muestra que la dosis alta generó un mayor cambio de pH en comparación a la dosis baja y sin aplicación. La dosis media no mostró un efecto estadísticamente diferente en comparación a la dosis alta, baja y sin aplicación (Cuadro 20). Este incremento de pH se pudo deber a que la aplicación de una enmienda cálcica cambia el pH del suelo con más facilidad cuando estos presentan texturas arcillosas predominantes. Cuando se agrega materiales que contienen alguna forma de limo o roca caliza triturada el efecto es más rápido. Mientras más fina la partícula, más rápido será su efectividad debido a la superficie de intercambio disponible (Kluepfel y Lippert 2012).

Cuadro 20. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en el cambio en pH, para su evaluación como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Dosis [¥]	Yeso (t/ha)	Cambio en pH
Alta	3.8	0.66 a
Media	2.2	0.54 ab
Baja	0.7	0.28 b
Sin aplicación	0	0.31 b
P-valor		0.0327
R²		0.88
CV		66.34

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa (P > 0.05).

[¥]Contenido de las dosis, exceptuando el Sin aplicación: Melaza 329.2 y Levadura activada: 82.3 t/ha.

Efecto de la calidad del suelo bajo la aplicación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la cantidad de fósforo potasio, calcio, magnesio y sodio en el suelo en la producción de caña de azúcar

Se realizó un análisis de suelo a el primer horizonte de los tres tipos de suelos utilizados en el estudio, en donde se estimó la cantidad fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio en el suelo. De esta forma se pudo calcular el cambio que hubo en las cantidades de los nutrientes antes mencionados, restando los datos iniciales (Cuadro 21) con los resultados finales (Cuadro 22) del suelo.

Cuadro 21. Datos iniciales de fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio presente en los tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [¥]	mg/kg (extractable)				
	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
Fuert. Ácido	4	59	781	157	23
Lig. Ácido	6	88	1,310	165	5
Mod. Básico	17	166	3,589	678	245

[¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

Cuadro 22. Datos finales de fósforo, potasio, calcio magnesio y sodio presente en los tres tipos de suelos destinados para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [¥]	mg/kg (extractable)				
	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
Fuert. Ácido	20	48	801	119	14
Lig. Ácido	34	113	1,323	152	7
Mod. Básico	40	290	3,906	644	150

[¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

Se obtuvo diferencias muy significativas ($P < 0.01$ a 0.0001) y altamente significativas ($P < 0.0001$) para el factor suelo: potasio ($P = 0.0001$), calcio ($P < 0.0001$), magnesio ($P < 0.0001$) y sodio ($P < 0.0001$). Los nutrientes mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y muy significativas ($P < 0.01$ a 0.0001) en el factor dosis: calcio ($P = 0.0193$) y magnesio ($P = 0.0093$). Los nutrientes mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y muy significativas ($P < 0.01$ a 0.0001) en la interacción de ambos factores suelo y dosis: calcio ($P = 0.0161$) y magnesio ($P = 0.0018$). El fósforo no mostró diferencias significativas en ningún factor (Cuadro 23).

Cuadro 23. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) de las variables cambio en las cantidades de potasio, calcio magnesio y sodio en el suelo para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Factores	Cambio mg/kg (extractable)									
	Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio		Sodio	
Suelo	0.055	ns	0.0001	**	<0.0001	***	<0.0001	***	<0.0001	***
Dosis	0.504	ns	0.163	ns	0.019	*	0.009	**	0.082	ns
Suelo×Dosis	0.244	ns	0.069	ns	0.016	*	0.002	**	0.083	ns
R²	0.42		0.65		0.95		0.78		0.83	
CV	69.9		172.15		106.85		55.14		80.14	

***Diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), **Muy significativos ($P 0.01$ a 0.0001),

*Significativa ($P \leq 0.05$), ns: no significativo.

El tipo de suelo mostró un efecto significativo en cuanto al cambio de potasio y calcio. En los suelos fuertemente ácidos ($\text{pH} = 5.05$) aumentó la cantidad de potasio y calcio en el suelo, en comparación a los suelos ligeramente ácidos ($\text{pH} = 6.1$) y moderadamente básicos ($\text{pH} = 7.7$) los cuales mostraron una reducción en potasio y calcio. En cuanto a magnesio en el suelo, los suelos fuertemente ácidos mostraron un incremento significativamente superior a los suelos ligeramente ácidos y moderadamente básicos. En cuanto a sodio en el suelo, los suelos moderadamente básicos mostraron un incremento significativamente superior a los suelos ligeramente ácidos. Los suelos fuertemente ácidos mostraron una reducción en la cantidad de sodio en el suelo (Cuadro 24). La disminución del potasio y calcio presente en los suelos ligeramente ácido y moderadamente básico, se pudo deber a su consumo por parte de la planta debido a que su disponibilidad no es limitada por el pH de estos suelos. En comparación a los suelos fuertemente ácidos, donde, según el diagrama de Troug, el pH no permite que el potasio y calcio estén disponibles para ser absorbidos por la planta. Según el diagrama de Troug, el magnesio presenta una mayor disponibilidad en los pH intermedios, es por esto que hubo un mayor consumo en los suelos ligeramente ácidos ($\text{pH} = 6.1$), a comparación a los suelos con pH fuertemente ácidos y moderadamente básicos (Nutricontrol 2019).

Cuadro 24. Efecto del tipo de suelo en el cambio de la cantidad de potasio, calcio, magnesio y sodio en el suelo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos [¥]	Cambio mg/kg (extractable)			
	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
Fuert. Ácido	40.3 a	509.5 a	46.0 a	-9.9 c
Lig. Ácido	-54.5 b	-542.5 c	5.2 b	15.7 b
Mod. Básico	-123.5 c	-317.0 b	35.0 a	94.6 a
P-valor	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
R²	0.65	0.95	0.78	0.83
CV	172.2	106.9	55.1	80.1

Medias con una letra diferente no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

[¥]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

El suelo mostró un efecto significativo en cantidad de calcio en el suelo cuando se aplicó la dosis alta y Sin aplicación, mostró una reducción significativamente mayor en comparación a la dosis baja. El suelo mostró un efecto significativo en el cambio de la cantidad de magnesio en el suelo cuando se aplicó la dosis alta, mostró un incremento significativamente mayor en comparación a la dosis media y Sin aplicación (Cuadro 25). Sin embargo, este comportamiento no se puede atribuir a la dosis, ya que aplicar una dosis alta mostró el mismo efecto que no hacer ninguna aplicación y dosis intermedias muestran un menor cambio en el tiempo.

Cuadro 25. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en el cambio de cantidades de calcio y magnesio en el suelo, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Dosis [¥]	Yeso (t/ha)	Cambio mg/kg (extractable)	
		Calcio	Magnesio
Alta	3.8	-204.5 c	44.4 A
Media	2.2	-71.1 ab	22.0 B
Baja	0.7	-24.8 a	30.1 ab
Sin aplicación	0	-166.3 bc	18.4 B
P-valor		0.0193	0.0093
R²		0.95	0.78
CV		106.85	55.14

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[¥]Contenido de las dosis, exceptuando el Sin aplicación: melaza 329.2 y solución de Levadura activada: 82.3 t/ha.

Se obtuvo resultados significativos en el cambio en la cantidad de magnesio en los suelos. Este obtuvo un aumento mayor en los suelos fuertemente ácidos cuando se aplicaron las dosis alta y media. En los suelos ligeramente ácidos se presentó un mayor incremento cuando se aplicó la dosis alta. En los suelos moderadamente básicos hubo un mayor incremento cuando se aplicó las dosis

alta y baja (Cuadro 26). El efecto se pudo deber a que las altas cantidades de calcio aplicado al suelo y el pH, afectó la disponibilidad de magnesio en el suelo para la planta. Es por esto que se obtuvo un mayor aumento de magnesio en los suelos fuertemente ácidos y moderadamente básicos, con dosis altas de dosis, en comparación a los suelos ligeramente ácidos (Nutricontrol 2019).

Cuadro 26. Efecto del suelo y la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en el cambio de cantidad de magnesio en el suelo.

Suelos [‡]	Dosis	Cambio mg/kg (extractable)	
		Magnesio	
Fuert. Ácido	Alta	62.2	ab
	Media	54.5	abc
	Baja	36.8	bcd
	Sin aplicación	30.5	cde
Lig. Ácido	Alta	28.7	cdef
	Media	6.0	efg
	Baja	-14.3	g
	Sin aplicación	0.5	fg
Mod. Básico	Alta	42.4	abcd
	Media	5.6	ef
	Baja	67.8	a
	Sin aplicación	24.1	def
P-valor		0.0018	
R²		0.78	
CV		55.14	

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[‡]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

Efecto de la calidad del suelo y dosis de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la saturación de potasio, calcio, magnesio y sodio en el suelo en la producción de caña de azúcar

Se mostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) para el factor suelo en la saturación de calcio, saturación de magnesio y PSI. Las saturaciones mostraron diferencias muy significativas ($P 0.01$ a 0.0001) en el factor dosis: saturación calcio ($P = 0.0002$) y saturación magnesio ($P = 0.0001$). La saturación de potasio no se discute debido al R^2 tan bajo que se obtuvo. Las saturaciones mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y muy significativas ($P 0.01$ a 0.0001) en la interacción de ambos factores suelo y dosis: calcio ($P = 0.033$) y magnesio ($P = 0.008$) (Cuadro 27).

Cuadro 27. Significancia de los factores y las interacciones ($P \leq 0.05$) de las variables saturación de potasio, calcio, magnesio y PSI en el suelo para la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Factores	Saturación Potasio		Saturación Calcio		Saturación Magnesio		PSI[‡]	
Suelo	0.0351	***	<0.0001	***	<0.0001	***	<0.0001	***
Dosis	0.491	ns	0.0002	**	0.0001	**	0.223	ns
Suelo×Dosis	0.081	ns	0.033	*	0.008	**	0.535	ns
R²	0.49		0.83		0.88		0.77	
CV	36.92		2.26		7.35		47.34	

***Diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), **Muy significativos ($P 0.01$ a 0.0001),

*Significativa ($P \leq 0.05$), ns: No significativo.

[‡]PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.

El suelo mostró un efecto significativo en la saturación de potasio, siendo esta normal en los suelos ligeramente ácidos ($\text{pH} = 6.1$) y en los suelos moderadamente básicos ($\text{pH} = 7.7$) en comparación a los suelos fuertemente ácidos ($\text{pH} = 5.05$) que obtuvieron una baja saturación de potasio. El suelo mostró un efecto significativo en la saturación de calcio, siendo esta normal en los suelos fuertemente ácidos ($\text{pH} = 5.05$) y en los suelos moderadamente básico ($\text{pH} = 7.7$), en comparación a los suelos ligeramente ácidos ($\text{pH} = 6.1$) los cuales mostraron una saturación de calcio alta. El suelo mostró un efecto significativo en la saturación de magnesio, siendo esta normal en los suelos fuertemente ácidos ($\text{pH} = 5.05$) en comparación a los suelos ligeramente ácidos ($\text{pH} = 6.1$) con una saturación de magnesio baja y los suelos moderadamente básicos ($\text{pH} = 7.7$) con una saturación de magnesio alta. El suelo mostró un efecto positivo en el PSI en el suelo siendo este normal en los tres tipos de suelos (Cuadro 28).

Cuadro 28. Efecto de la condición del suelo en la saturación de calcio, magnesio y sodio en el suelo en la evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Suelos[‡]	Saturación Calcio (%)		Saturación Magnesio (%)		Saturación Sodio (%)	
Fuert. Ácido	70.4	c	17.5	b	1.1	b
Lig. Ácido	76.0	a	14.6	c	0.4	c
Mod. Básico	74.3	b	20.4	a	2.5	a
P-valor	<0.0001		<0.0001		<0.0001	
R²	0.83		0.88		0.77	
CV	2.26		7.35		47.34	

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

[‡]Fuert: fuertemente. Lig: ligeramente. Mod: moderadamente.

Amarillo: saturación baja, **verde:** saturación normal y **rojo:** saturación alta.

El suelo mostró un efecto positivo en la saturación de calcio, siendo esta normal en los suelos que se aplicó dosis media, baja y Sin aplicación, en comparación a los suelos en donde se aplicó dosis alta, los cuales obtuvieron una saturación de calcio alta. El suelo mostró un efecto positivo en la saturación de magnesio, siendo esta normal en los suelos donde se aplicó las dosis alta, media, baja y Sin aplicación (Cuadro 29). Debido a la aplicación de calcio por medio del yeso y a la relación antagonista entre el calcio y magnesio se obtuvo una disminución en la saturación de magnesio a medida se iba aumentando la dosis, siendo la dosis alta donde se obtuvo una diferencia clara, donde la saturación de calcio fue alta, la saturación de magnesio fue la más baja en comparación a la dosis media, baja y Sin aplicación (Mulder 1953).

Cuadro 29. Efecto de la dosis aplicada de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura en la saturación de calcio y magnesio en el suelo, como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras.

Dosis	Yeso (t/ha)	Saturación Calcio (%)	Saturación Magnesio (%)
Alta	3.8	76.1 a	15.4 b
Media	2.2	73.2 b	17.7 a
Baja	0.7	72.4 b	18.4 a
Sin aplicación	0	72.5 b	18.4 a
P-valor		0.0002	0.0001
R²		0.83	0.88
CV		2.26	7.35

Medias con la misma letra no tiene diferencia significativa ($P > 0.05$).

‡Contenido de las dosis, exceptuando el Sin aplicación: Melaza 329.2 y Levadura activada: 82.3 t/ha. Verde: saturación normal y rojo: saturación alta.

4. CONCLUSIONES

- No hubo respuesta a las dosis incrementales de yeso en el suelo, pero posiblemente si a la acción de la melaza y la levadura ($P < 0.05$) en la producción promedio de biomasa fresca del cultivo 146 vs 122 t/ha sin aplicación. Sin embargo, no fue claro el efecto de la enmienda cálcica en las propiedades físicas de suelos evaluados.
- La aplicación de la enmienda calcárea a base de yeso activada con melaza y levadura incrementó pH y contenido de magnesio en los suelos, lo cual limitó la absorción de potasio por la planta, pero no tuvo efecto en la producción y calidad del cultivo.
- El desarrollo del cultivo fue mejor en el diámetro y biomasa de los tallos, en los suelos ligeramente ácidos y moderadamente alcalinos.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar la enmienda cálcica con activada con melaza y levadura, en suelos disturbados y masificados con pH fuertemente ácido, ligeramente ácido y moderadamente básicos aplicando distintas cantidades de yeso acompañado de distintas dosis de melaza y levadura.
- Evaluar la enmienda cálcica activada con melaza y levadura, en suelos masificados con métodos de aplicación superficial sin incorporación vs con incorporación.
- Realizar un protocolo de extracción y movilización de suelos para su réplica en barriles plásticos.
- Replicar el estudio en un periodo de tiempo mayor a ocho meses.
- Evaluar la enmienda cálcica activada con melaza y levadura, en suelos disturbados y masificados en diferentes cultivos.
- Evaluar la cantidad y longitud final de las raíces del cultivo en el macetero por medio de un lavado del suelo o mediante un corte longitudinal del barril.
- Evaluar el efecto de la quema de las hojas de la caña de azúcar en la cantidad de microorganismos presentes en el suelo antes de la quema vs después de la quema.
- Considerar el uso de fuentes distintas de calcio a aplicar en futuras evaluaciones.
- Evaluar el efecto de la enmienda cálcica activada con melaza y levadura en condiciones de campo, elevando las dosis aplicadas de yeso.
- Determinar el tipo o tipos de microorganismos se encuentran presente en la cachaza para su uso como fuente de microorganismos efectivos.

6. LITERATURA CITADA

- Abdul K, Abbasi T. 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganism (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource technology*, 97: 967-972. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.002>
- Agratronix. 2015. Operators Manual SOIL COMPACTATION TESTER. [internet]. [Consultado el 18 de sep. de 2020]. <https://www.agratronix.com/wp-content/uploads/2015/11/08180-manual.pdf>
- Arévalo de Gauggel, G. 2011. Fertilizantes y Enmiendas. [internet]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. [Sin editorial] [Modificado en feb. 2011; Consultado el 23 de oct. de 2019]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/1340>
- Bautista Cruz, A, Etchevers Barra, J, del Castillo, R, Gutiérrez C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas*, 13(2). [Consultado el 4 de ago. de 2020]. doi:10.7818/re.2014.13-2.00
- Cenicaña BiDiCAÑA. 2008. Banco de imágenes. Biblioteca digital cenicaña, DSpace. [internet]. [Consultado el 29 de abr. de 2020]. <https://images.app.goo.gl/assyamy5NmTWymvJ8>
- Conti M. 2004. Dinámica de la Liberación y Fijación de Potasio en el Suelo. [Internet]. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. [Sin editorial]. [Sin fecha; consultado el 4 de oct. de 2020]. <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1090>
- Daly M, Stewart D. 1999. Influence of “Effective Microorganisms” (EM) on Vegetable Production and Carbon Mineralization, A Preliminary Investigation, *Journal of Sustainable Agriculture*. [Tesis de pregrado]. RMIT University, England and Wales. [Consultado el 13 de octubre de 2019]. DOI: 10.1300/J064v14n02_04
- Eddy A, Saneaki T. 2003. Recuperación y Disminución de la Salinidad del Suelo. [Tesis de doctorado]. Bolivia: Fundación CETABOL, Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia. [Consultado el 14 de sep. de 2019]. https://www.cetabol.bo/sitio/images/recursos/menu/suelos/publicaciones/2_recuperacion_y_disminucion_de_la_salinidad_del_suelo.pdf
- Fajardo E, Sarmiento S. 2007. Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*. [Tesis de maestría]. Bogotá, D.C, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. 120 p. [Consultado el 4 de sep. de 2019]. <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>
- Fassbender H. 1987. Química de los suelos: con énfasis en suelos de América Latina. [Libro]. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. Servicio Editorial IICA. [Modificado junio 1994; consultado el 24 de oct. de 2019]. <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6801/2/BVE18039990e.pdf>

- Gómez G, José A, Ospina A, Juan. 2004. Evaluación de la aplicación de urea, melaza y aminoácidos sobre el crecimiento y rendimiento de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. Grupo cepa) híbrido yellow granex, en condiciones de la Sabana de Bogotá. [Tesis de maestría] Universidad Nacional de Colombia, Agronomía Colombiana, 22(2),177-184. [Consultado el 15 de sept. de 2020]. <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180318264010.pdf>
- Guerra Serrano A, Mendieta Servellón J. 2011. Subsoleo en suelos arcillosos masivos y fertilización con magnesio en el cultivo de pasto Tobiata (*Panicum maximum*). [Tesis de pre grado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 34 p. [Consultado el 30 de ago. de 2019]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/734/1/Copia%20de%20T3188.pdf>
- Higa T. 1996. Effective microorganism-Their role in Kyusei nature farming and sustainable agriculture. In: J.F Parr *et al.* (Eds) Proceedings of the three international nature farming conference. [Internet]. USDA; Washington. [Sin editorial]. [Sin fecha; consultado el 21 de ago. de 2019]. <http://www.infrc.or.jp/knf/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C3-2-055.pdf>
- Homer D, Parker F. 1997. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. [Tesis de pregrado]. México, Trillas. 195 p. [Consultado el 25 de ago. de 2019]. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGRISUM.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000181>
- Hossne A. 2007. La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. [Tesis de maestría]. Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería Agronómica, Ingeniería Agrícola, Campus Guarito. Maturín, Estado Monagas, Venezuela. 195-202 p. [Consultado el 3 de oct. de 2020]. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792008000300001&script=sci_arttext
- Kluepfel M, Lippert B. 2012. CHANGING THE PH OF YOUR SOIL. [internet]. Clemson University. [Sin editorial]. [Sin fecha; consultado el 29 de sep. de 2020]. <https://hgic.clemson.edu/factsheet/changing-the-ph-of-your-soil/>
- Laureda, Daniel Andrés. Botta, Guido Fernando. Tolón Becerra, Alfredo. Rosatto, Héctor Gustavo. 2016. Compactación del suelo inducida por la maquinaria en campos de polo en Argentina. [Revista] Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. [Consultado el 15 de ago. de 2019]. 48(1),79-99. http://170.210.45.98/objetos_digitaes/8446/cp07-botta.pdf
- Márquez L. 2000. Subsoladores y Descompactadores. [internet]. España: Editorial Blake & Helsey. [Sin fecha; consultado el 4 de may. de 2019]. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/maquinaria-agricola/subsolador.aspx>

- Mendoza D. 2009. Uso de vermicomposts y compost de residuos agrícolas como sustratos para la producción de planta ornamental. [Tesis de pregrado]. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. 664-669 p. [Consultado el 2 de jul. de 2019]. <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2054.%20VI%20Congreso%20Ib%C3%A9rico%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas.%20XII%20Congreso%20Nacional%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas/Comunicaciones/Usodevermicomposts%20y%20compost%20de%20residuos%20agr%C3%ADcolas%20como%20sustratos%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20planta%20ornamental.pdf>
- Mengel K, Kirkby E. 2000. Principios de nutrición vegetal. 4ta edición. IPI (International Potash Institute), Basel, Switzerland. 692 p. Editorial: Brinkmann, Mulhouse, Francia; [Sin fecha; consultado el 4 de jul de 2019]. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf>
- Mestre M. 2011. Biodiversidad de levaduras de suelo y rizósfera asociadas a especies de *Nothofagus* ectomicorrícicos del Bosque Andino-patagónico. [Tesis de maestría]. Río Negro, Argentina: Centro Regional Universitario Bariloche. 47 p. [Consultado el 29 de oct. de 2020]. <http://crubweb.uncoma.edu.ar/docbiologia/Descargas/TESES%20APROBADAS/MESTRE.pdf>
- Mohamed K, Fouda S, Schmidhalter U. 2015. Effects of Gypsum Particle Size on Reclaiming Saline-Sodic Soils in Egypt [Tesis de pregrado]. Universität München, Freising, Germany. 46:9, 1112-1122. [Consultado el 17 de ago. de 2020] DOI: 10.1080/00103624.2015.1018528
- Mulder D. 1953. Les elements mineurs en culture fruitière, Los elementos menores en la cultura frutícola. [internet]. Bio-Agrolat [Sin editorial]. [Sin fecha; consultado el 25 de sep. de 2020]. http://www.bioagrolat.com/?page_id=151
- Nutricontrol. 2019. Conceptos generales sobre pH. [internet]. Nutri Control [Sin editorial]. [Consultado el 30 de sep. del 2020]. <http://nutricontrol.com/2015/conceptos-generales-sobre-ph/>
- Piyadasa E, Attanayake K, Ratnayake A, Sangakkara U. 1995. The role of effective microorganism in releasing nutrient from organic matter. In: Second conference Effective microorganism (EM) at Kyusei nature farming Center, Saraburi, Thailand, Nov 1993. 7-14 p. [Consultado el 28 de sep del 2020].
- Porta C, Acevedo R. 2005. Agenda de campo de suelos: Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. [Libro]. 1era Edición. La Rioja, España. Editorial: Mundi Prensa Libros [Consultado el 20 de mayo de 2019]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=258074>
- Ramírez V, Lozada G, Arellano J, Calderón M, Andrade C. 2011. Un modelo de producción y consumo de azúcar en Venezuela. [Tesis de pregrado]. Facultad de Ingeniería, ULA, Venezuela. 32(2),61-71 p. [Consultado el 2 de may. de 2019]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550794006>

- Rees W, Wackernagel M. 2001. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. [Internet] Center for Sustainability, Pennsylvania State University. Editorial Gene Bazan. [Sin fecha, consultado el 4 de may. de 2019]. <https://escholarship.org/uc/item/7730w81q>
- Revelo, Dolly M, Hurtado, Nelson H, Ruiz, Jaime O, López, Stefanía. 2015. Uso de Microorganismos Nativos en la Remoción Simultánea de Materia Orgánica y Cr(VI) en una Celda de Combustible Microbiana de Biocátodo (CCM) [Tesis de maestría]. Universidad de Nariño, 26(6). 77-88 p. [Consultado el 2 de oct. de 2020]. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000600010
- Rivera E, Sánchez M, Domínguez H. 2018. pH como factor de crecimiento en plantas. [Tesis de pregrado]. Centro Regional de Colón, Universidad Tecnológica de Panamá. 105 p. [Consultado el 20 de sep. del 2020]. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829/2639>
- Rowell D. 1994. Soil science; methods and applications. [Internet]. Longman, London, UK. [Sin editorial]. [Sin fecha, consultado el 3 de nov. de 2019]. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/soil-science-methods-and-applications-by-d-l-rowell-x-350-pp-harlow-longman-scientific-technical-1994-1999-paperback-isbn-0-582-08784-8/EB07826AA098A4BA3D89153EF8FBC8CA>
- Rubio R. 2018. Conceptos de recuperación de suelos manejados en agricultura intensiva. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. [Conferencia presencial el 8 de jun. del 2019]. Compartido de: base de datos, presentaciones Cadelga Fertica.
- Sancllemente O, García M, Valencia F. 2011. Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). [Revista]. RIAA 2 (2) 2011, Revista de Investigación Agraria y Ambiental. [Consultado el 20 de oct. del 2020]. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3903435.pdf>
- Santacruz C. 2019. Elaboración de Biofertilizante a base de microorganismos de montaña activado, en estado sólido. [Tesis de pregrado]. Ecuador: Universidad técnica de Babahoyo. 24 p. [Consultado el 2 de sep. de 2020]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6017/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000132.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Spaans E, Nuñez O. 2006. Manejo de la Estructura del Suelo con Precisión. In X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia de Suelo. [Tesis de doctorado]. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 11 p. [Consultado el 2 de jul. de 2019]. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Manejo-de-la-Estructura.pdf>
- Terry E, Leyva A, Hernández A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). [Revista]. Revista Colombiana de Biotecnología, VII (2),47-54. [Consultado el 19 de sep. de 2019]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77670207>

- Verheye W, Koohafkan P, Natchtergacle F. 2009. Land Use, Land Cover and Soil Sciences. [Libro]. Volume II Land Evaluation. 1era edición. Oxford (United Kingdom). [Consultado el 13 de jul. de 2019]. https://books.google.hn/books?id=yYTTCwAAQBAJ&dq=verheye+1992&source=gbs_navlinks_s
- Wischmeier W, Smith D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. [Libro] Washington D. C. (EUA): USDA. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. [Consultado el 24 de jul. de 2019]. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>
- Zeballos M. 2017. Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales. [Tesis de pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 34 p. [Consultado el 8 de ago. de 2019]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6199/1/IAD-2017-049.pdf>
- Zúñiga O, Osorio J, Cuero R, Peña J. 2011. Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos Degradados por Salinidad. [Tesis de pregrado]. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, 64(1),5769-5779. [Consultado el 19 de ago. de 2019]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922364003>

7. ANEXOS

Anexo 1. Extracción del suelo con maquinaria.



Anexo 2. Extracción del suelo por horizontes.



Anexo 4. Toma de datos de la resistencia a la penetración por horizonte



Anexo 3. Llenado de sacos con el suelo de cada horizonte.



Anexo 6. Rotulado de sacos por horizontes y fincas.



Anexo 5. Perfil del suelo de las fincas Llanos, Granadilla y Rapaco 2, respectivamente.



Anexo 7. Transporte de los suelos en sacos hacia la EAP, Zamorano.



Anexo 8. Suelos en sacos y barriles plásticos descargados en el módulo de conservación de suelos de la EAP Zamorano.



Anexo 9. Instalación del proyecto Evaluación de una enmienda cálcica activada con melaza y levadura como acondicionador de suelos disturbados del Ingenio Tres Valles, Honduras, finalizada.

