

**Estimación de parámetros químicos en el agua de drenaje de suelos magnésicos bajo la  
aplicación de enmiendas agrícolas**

José Evelio Campos Murcia

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuelas de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Programa de Agronomía

Palmira

2023

**Estimación de parámetros químicos en el agua de drenaje de suelos magnésicos bajo la  
aplicación de enmiendas agrícolas**

José Evelio Campos Murcia

Trabajo para optar al título de Agrónomo

Director:

Milton Ararat

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuelas de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Programa de Agronomía

Palmira

2023

**Página de Aceptación**



Milton Ararat

Director Trabajo de Grado



Jurado



Jurado

## Resumen

Para el análisis del experimento se realizaron las determinaciones colorimétricas de propiedades químicas como pH, Nitrito, Nitrato, Fosfato, Conductividad de Electrolitos (EC) y Sólidos Disueltos Totales (TDS), de cuatro tratamientos aplicados a un suelo salino con alta saturación de  $Mg^{2+}$ , procedente de un sistema de cultivo de caña de azúcar, para realizar estas determinaciones se establecieron los ensayos como: T1 Suelo magnésico + manejo convencional o testigo, T2 Suelo magnésico + Yeso Agrícola, T3 Suelo magnésico + Compost, T4 Suelo magnésico + Compost y Yeso

Los resultados obtenidos evidenciaros que las aplicaciones de enmiendas al suelo, mejoran las propiedades químicas y juegan un papel fundamental en el proceso de mineralización del nitrógeno, ya que los microorganismos son sensibles a pH muy ácidos o muy alcalinos, al equilibrio iónico, a la concentración de C y de N y a procesos de oxidación e hidrólisis, además la mayoría de los suelos retienen con mayor facilidad los cationes; por tanto, aniones como nitrito y nitrato son lixiviados regularmente del medio, además se observó que el tratamiento de compost + Yeso con un valor EC de 246,5  $\mu S/cm$ , es el único que conserva unas características de calidad de agua excelentes, demostrando que conforme se va produciendo la mineralización de la materia orgánica, va disminuyendo la CE en el suelo.

**Palabras claves:** Enmiendas, Cachaza, Yeso, Salinos, Lixiviados.

## Summary

For the analysis of the experiment, colorimetric determinations of chemical properties such as pH, Nitrite, Nitrate, Phosphate, Electrolyte Conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (TDS) of four treatments applied to a saline soil with high  $Mg^{2+}$  saturation were performed. 2, from a sugarcane cultivation system, to carry out these determinations, the tests were established as: T1 Magnesium soil + conventional or control management, T2 Magnesium soil + Agricultural Gypsum, T3 Magnesium soil + Compost, T4 Magnesium soil + Compost and plaster

The results obtained show that the applications of soil amendments improve the chemical properties and play a fundamental role in the nitrogen mineralization process, since the microorganisms are sensitive to very acidic or very alkaline pH, to the ionic balance, to the concentration of C and N and oxidation and hydrolysis processes, in addition, most soils retain cations more easily; therefore, anions such as nitrite and nitrate are regularly leached from the medium, it was also observed that the compost + plaster treatment with an EC value of 246.5  $\mu S/cm$ , is the only one that preserves excellent water quality characteristics, demonstrating that as the mineralization of organic matter occurs, the EC in the soil decreases.

***Keywords:*** Amendments, Filter cake, Gypsum, Salt, Leachate.

## Contenido

<b>Lista de figuras .....</b>	<b>9</b>
<b>Lista de gráficos.....</b>	<b>10</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>12</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>13</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>14</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>14</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>15</b>
<b>Materiales y Métodos .....</b>	<b>23</b>
<b>Metodología para la determinación del pH: .....</b>	<b>25</b>
<b>Metodología para la determinación Nitrito: .....</b>	<b>26</b>
<b>Metodología Nitrato:.....</b>	<b>26</b>
<b>Metodología Fosfato:.....</b>	<b>27</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>28</b>
<b>Determinación Colorimétrica del valor del PH en aguas superficiales y residuales: 28</b>	
<b>Determinación colorimétrica de los iones nitrito en las aguas superficiales y residuales: .....</b>	<b>29</b>
<b>Determinación colorimétrica de los iones Nitrato en las aguas superficiales y residuales: .....</b>	<b>30</b>
<b>Determinación colorimétrica de los iones fosfato en las aguas superficiales y residuales: .....</b>	<b>31</b>
<b>Determinación Ph/ EC/ TDS. Testers HANNA Instruments: .....</b>	<b>32</b>

**Conclusiones .....34**

**Bibliografía .....35**

### **Lista de tablas**

Tabla 1. Requisitos específicos de calidad para el compost en Colombia.....	22
Tabla 2. Diseño Experimental.....	24
Tabla 3. Valores permisibles de CE en agua para riego Fipps.....	33

### **Lista de figuras**

Figura 1. Desplazamiento del exceso de iones Na del coloide por los iones Ca procedentes de la disolucion del Yeso Brady y Weil.....	22
Figura 2. Proceso de la determinacion de las bases intercambiables.....	25
Figura 3. Proceso para la determinacion PH/EC/TDS.....	28

**Lista de gráficos**

Grafica 1. Determinacion de PH.....	28
Grafica 2. Determinacion Nitrilo.....	29
Grafica 3. Determinacion Nitrato.....	30
Grafica 4. Determinacion Fosfato.....	31
Grafica 5. Relacion TDS-CE.....	32

## **Introducción**

La presente investigación se desarrolló, para poder evaluar el efecto de la aplicación de las enmiendas agrícolas (cachaza compostada y sulfato de calcio – Yeso), en suelos salinos con alta saturación de  $Mg^{2+}$ , procedentes de un sistema de cultivo de caña de azúcar, para esto se utilizaron contenedores con volúmenes de suelo conocidos con las respectivas dosis y aplicaciones de las enmiendas agrícolas previamente calculadas. Se aplicó una lámina de riego, estimando la capacidad de campo. Posteriormente se recolectaron los lixiviados derivados del proceso, para realizar las determinaciones químicas establecidas, utilizando el laboratorio multipropósito de la UNAD, Cead Palmira.

### **Planteamiento del Problema**

Los suelos magnésicos son aquellos que tienen un alto contenido de  $Mg^{2+}$  en el sistema, poseen concentraciones de Mg en niveles cercanos o superiores a los de calcio. El ion  $Mg^{2+}$  tiene también propiedades dispersivas y puede causar efectos adversos sobre las propiedades físicas del suelo en forma similar a como lo hace el  $Na^+$  intercambiable. Estos suelos se caracterizan por tener reacción alcalina, pero con pH menor que el de los suelos sódicos, por ser muy plásticos y pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando están secos. (García, 2015).

En el valle del río Cauca (Colombia) se ha encontrado que aproximadamente 17.000 hectáreas están afectadas por alta saturación de  $Mg^{2+}$  intercambiable (García, 2015). Que pueden relacionarse con una baja en la producción de toneladas en el cultivo de caña. Por este motivo es importante para la agricultura de la región determinar las recomendaciones de las enmiendas para este tipo de suelos y este cultivo específico, que contribuyan en la preservación y mejoramiento de sus características fisicoquímicas.

### **Justificación**

Mantilla y León (S.F) afirman que el valor óptimo de la relación Ca: Mg se encuentra por encima de uno. Presentándose generalmente cercano a dos. A pesar de esto la mayoría de las plantas parecen crecer normalmente en suelos cuya relación Ca: M - se encuentra entre 1 y 10. pero con tendencias a deprimir la adsorción del M por las plantas cuando esta relación es muy amplia (1,2) Además se encuentran muy pocas referencias en el caso de relaciones Ca:Mg inferiores a la unidad.

Todas las formas de salinidad reducen la productividad de suelos y cultivos en muchas áreas del país y del mundo, especialmente de aquellas en las que existe déficit de agua. Lo anterior hace que el manejo adecuado sea de gran importancia, para lo cual es necesario tener en cuenta aspectos tales como la respuesta de los cultivos a la salinidad y que sea trascendental la caracterización adecuada del problema de sales. Igualmente, es fundamental la evaluación de la calidad del agua para riego y la predicción del efecto posible que su uso pueda causar en el cultivo y en el suelo. (García, 2001, p. 470)

Por esta razón esta investigación, pretende determinar en el laboratorio, los efectos en las propiedades fisicoquímicas de la aplicación de enmiendas como la cachaza y yeso en los suelos magnésicos. Ya que el comportamiento de los cationes intercambiables cuando se hacen adiciones de enmiendas y lavados posteriores con agua de riego, con el objeto de averiguar si realmente alguna de estas mezclas de correctivos produce un desplazamiento significativo de Mg de cambio, aumentando así la estrecha relación Ca: M

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar parámetros químicos en el agua de drenaje de un suelo Magnésico, bajo la aplicación de enmiendas agrícolas como la Cachaza compostada (orgánica) y sulfato de calcio comúnmente llamado Yeso agrícola, utilizadas en un sistema de caña de azúcar del centro del Valle del Cauca

### **Objetivos Específicos**

Relacionar la interpretación algunos limitantes agronómicos del suelo magnésico a partir de los análisis de laboratorio.

Cuantificar los parámetros químicos como pH y conductividad eléctrica del lixiviado del suelo con alta saturación de magnésico bajo la aplicación de enmiendas agrícolas “Cachaza y Yeso”.

Estimar las cantidades de nitratos en el lixiviado de un suelo Magnésico bajo la aplicación de enmiendas agrícolas “Cachaza y Yeso”.

## Marco Teórico

Cuando las sales solubles se concentran en el perfil de suelo y exceden ciertos límites se producen condiciones que afectan el crecimiento normal de las plantas. Sus efectos son diversos y su intensidad depende de la cantidad y tipo de sales predominantes, de la clase y cantidad de arcillas, del clima, del régimen de lavado y del drenaje. (García, 2001, p. 469)

La acumulación de sales puede hacer menos aprovechable el agua en el suelo al causar un aumento en el potencial osmótico. Algunos iones llegan a ser tóxicos cuando la planta los absorbe y acumula en el tejido, también pueden causar daños al acumularse sobre las superficies foliares o en la solución del suelo. En algunos casos, el exceso de iones trae como consecuencia desbalances en los procesos nutricionales de las plantas. (García, 2001, p. 469)

El Sodio (Na) puede afectar directamente a los suelos y a las plantas y también indirectamente a estas últimas, ya que su acumulación causa dispersión y expansión de arcillas con la consiguiente oclusión de poros lo cual conduce al rápido deterioro de las condiciones físicas al alterar la estabilidad estructural, disminuir la conductividad hidráulica y la velocidad de infiltración, además de su toxicidad específica. En muchos suelos el magnesio (Mg) puede causar problemas similares ya que, dependiendo de su concentración y del tipo de arcillas dominantes, se puede acumular en concentraciones tóxicas para las plantas y causar dispersión y expansión de las arcillas produciendo un efecto parecido al del Na. (García, 2001, p. 469)

**Condiciones Salinas:** El criterio común para el diagnóstico de la salinidad del suelo es la determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE), La medición de la CE se basa en el principio de que la cantidad de corriente eléctrica transmitida por una solución salina bajo condiciones estándar, es directamente proporcional a la concentración de sales de la solución, La CE puede medirse directamente en el sitio utilizando sensores de salinidad colocados in situ, determinando a los suelos salinos como aquellos que poseen en el extracto de

pasta de saturación una conductividad eléctrica mayor a 4 dS m<sup>-1</sup>, el porcentaje de sodio intercambiable es menor a 15 % y por lo general el pH es inferior a 8.5 (García, 2001, p. 475).

**Efectos de las sales sobre las plantas:** La salinidad tiene un efecto adverso sobre el crecimiento de las plantas y sobre el rendimiento a través de: 1) incremento del potencial osmótico del agua; 2) absorción y acumulación de algunos iones a niveles tóxicos para las plantas; 3) inducción de desbalances salino-nutricionales; 4) combinación de los anteriores. (García, 2001, p. 482)

**Suelos Magnésicos:** Es una categoría especial de suelos salinos que se caracterizan por presentar muy altas saturaciones de Mg<sup>2+</sup> en el complejo de cambio. El Mg<sup>2+</sup> confiere a estos suelos propiedades físicas indeseables, al dispersar las arcillas y la materia orgánica y modificar las propiedades hídricas en forma similar a como sucede con el Na<sup>+</sup>. Aún no se ha determinado un porcentaje de Mg<sup>2+</sup> intercambiable que se pueda considerar como nivel crítico para diferenciar entre suelos magnésicos y normales. (García, 2001, p. 478)

Generalmente, se agrupa a todos los suelos afectados por una alta saturación de Mg<sup>2+</sup> en un mismo grupo, sin importar el material parental, los procesos de formación que les han dado origen, las fuentes o forma de enriquecimiento con Mg<sup>2+</sup> y la movilidad de los compuestos acumulados. El término suelos magnésicos incluye Darab (como se cita en García, 2015):

1. Suelos en donde el Mg<sup>2+</sup> se acumula en forma de sales inorgánicas tóxicas para las plantas, principalmente sulfato y cloruro de Mg<sup>2+</sup>. Se les conoce como Solonetz. Kovda et al, (como se cita en García, 2015)

2. Suelos de color oscuro y textura pesada con altas cantidades de Mg<sup>2+</sup> (intercambiable, soluble y total), baja conductividad hidráulica y limitada movilidad de la humedad en el suelo. Se conocen como hidromórficos. Emerson y Smith, (como se cita en García, 2015)

3. Grupo con una alta saturación de Mg acompañada de una amplia variación en la saturación de Na con todas las características morfológicas del perfil Solonetz. Algunos autores resaltan la similitud en el comportamiento de los iones  $Mg^{+2}$  y  $Na^+$  en la formación del grupo Solonetz. Maté (como se cita en García, 2015).

**Características Químicas:** Las propiedades químicas de estos suelos están dadas por la naturaleza de las arcillas predominantes tipo 2: 1 (esmectitas, vermiculitas y grupos integrados), por las condiciones hidrológicas y climáticas reinantes en la zona, y los altos niveles freáticos que confieren al suelo un régimen de humedad ácuico. La dinámica del Calcio ( $Ca^{2+}$ ) y del Magnesio ( $Mg^{2+}$ ) es muy importante en los procesos de formación y evolución de los suelos del Valle del Rio Cauca, estos elementos están asociados con sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y, en algunos casos. cloruros. Torrente, A; García, A; Amezquita, E; Escobar, C; Sampayo, T. (S.F)

La Capacidad de Intercambio Catiónico, (CIC) de los suelos. presentó valores altos, significando suelos ricos en bases intercambiables; esta propiedad es superior en los suelos de la planicie fluvio-lacustre ( $CIC = 32.4 \text{ Cmol (+).kg suelo}^{-1}$ ) comparada con el piedemonte ( $CIC = 22.7 \text{ Cmol (+).kg suelo}^{-1}$ ), debido a los procesos de acumulación de bases intercambiables en presencia de mayor concentración de arcillas en las áreas bajas. El  $Ca^{2+}$  intercambiable extraído con la metodología tradicional resultó alto, siendo este no confiable debido a la importante dilución de las concreciones de carbonatos de Calcio. comunes en estos suelos. El porcentaje de Magnesio intercambiable (PMgI) es superior al 35% y unos pocos suelos adicionalmente presentaron alto porcentaje de Sodio intercambiable ( $PSI > 15\%$ ) confiriendo mayor alcalinidad. De manera general, en la solución del suelo predominan los iones  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$  y  $SO_4^{2-}$ . Torrente et al; (S.F)

El contenido de materia orgánica en los suelos es bajo, con valores inferiores al 3%, el mayor contenido de materia orgánica se encuentra bajo regímenes de humedad ácuico y údico

dominando los procesos de reducción. El pH está determinado por la presencia de iones  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ , y  $\text{Na}^+$ , resultando un rango de suelos entre ligeramente ácidos a muy alcalinos. Torrente et al; (S.F)

**Características Físicas:** Los suelos son muy arcillosos ( $\text{Ar} = 59.1\%$ ), lo que permite clasificar su textura como fina a muy fina. La densidad aparente en estado seco es muy alta ( $\text{Da} = 1.83 \text{ Mg.m}^3$ ) y en consecuencia la porosidad total es baja ( $n = 29.5\%$ ); en general son muy plásticos ( $\text{IP} = 45.3\%$ ) y muy expandibles ( $\text{COEL} = 0.17$ ) a causa de su composición rica en minerales 2:1 (vermiculita, Estos suelos están expuestos a procesos de esmectitas y grupos integrados). Torrente et al; (S.F)

**Efecto de la alta saturación de  $\text{Mg}^{+2}$  intercambiable:** La acumulación de  $\text{Mg}^{+2}$  en el complejo de cambio de suelos en ciertas áreas del mundo como en los de la serie Burrigá (Typic Pelludert) del Valle del Cauca, es un fenómeno conocido. El uso de aguas de riego conteniendo altas concentraciones de  $\text{Mg}^{+2}$  puede traer como consecuencia un aumento en el porcentaje de saturación del Mg intercambiable del suelo (PMgl). También suelos derivados de materiales parentales ricos en Mg, tales como los serpentínicos, son comunes en algunas áreas y tienen un alto contenido de  $\text{Mg}^{+2}$  intercambiable asociado con problemas de infiltración. (García, 2001, p. 482)

Aunque actualmente existe mucha información que soporta el punto de vista de que el  $\text{Mg}^{+2}$  actúa en el suelo en forma semejante al calcio, también es cierto que muchos otros investigadores han encontrado que el  $\text{Mg}^{+2}$  tiene la capacidad de ayudar a desarrollar niveles de PSI mayores en suelos y en materiales arcillosos. Hay un efecto específico del  $\text{Mg}^{+2}$  intercambiable sobre las propiedades físicas de los suelos causando disminución en la conductividad hidráulica porque tiene características dispersivas. El grado de dispersión aumenta a medida que aumenta la relación Mg: Ca en la solución. (García, 2001, p. 482)

El  $Mg^{+2}$  intercambiable puede reducir el crecimiento de las plantas debido a un efecto directo de toxicidad. La disminución en la productividad puede atribuirse a una deficiencia de calcio causada por los altos niveles de  $Mg^{+2}$  en el suelo. Debido a la existencia de una información contradictoria y a la carencia de un parámetro preciso que permita determinar la posibilidad de peligro potencial para el suelo o los cultivos al usar un agua con una concentración dada de  $Mg^{+2}$ , se recomienda una evaluación cuidadosa de la misma cuando la relación Ca/Mg del agua sea menor que uno. En este caso la determinación del contenido de Ca disponible en el suelo es necesaria para decidir si debe añadirse una enmienda calcítica. (García, 2001, p. 482)

**Pautas de manejo para suelos Magnésicos:** Las prácticas de manejo en los suelos deben estar dirigidas a incrementar la tasa de infiltración, reducir la erosión potencial y al uso óptimo del agua recomendándose para este caso el sistema de aspersion mediana o ligera. Debe examinarse el tipo de fertilización y recomendar el uso de fuentes poco móviles y estables en el suelo, en lo posible sin contenidos de  $Mg^{+2}$  evitando la pérdida de nutrimentos. La adición de materiales orgánicos es importante para mejorar la aireación de estos suelos, incrementar el movimiento del agua, suministrar N (Nitrógeno) a las plantas y facilitar el desplazamiento del  $Mg^{+2}$  y del  $Na^{+}$ . En las labores de recuperación de los suelos magnésicos se recomiendan prácticas similares a aquellos afectados por sodio, como son la aplicación de enmiendas y lavado, siendo posible el empleo del cultivo de arroz para estos propósitos. Torrente et al; (S.F).

**Características y uso de cachaza compostada:** Teniendo en cuenta que el compostaje es el proceso de descomposición que convierte los subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que se pueden aprovechar en aplicación de enmiendas al suelo. Salgado & al, (2003) se refiere a la cachaza como un residuo de la industria azucarera que se forma a partir de los lodos formados por las impurezas, ceras, hidrocarburos y azúcares que aporta la

caña, a través del proceso de clarificación de sus jugos, que incluye de 30 – 50kg por tonelada de caña procesada, lo que representa del 3 al 5% de la materia prima procesada.

Zérega (1993) Reconoce a la cachaza como un subproducto con altos contenidos de materia orgánica (MO), calcio (Ca), fósforo (P) y nitrógeno (N), pero que al usarse de forma directa puede causar daños en el cultivo. Sin embargo, el proceso de compostaje le permite usarse como abono, favoreciendo las propiedades físicas y químicas del suelo, además aumentando temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo y el aumento en la capacidad de retención de humedad. Reduciendo además la dosis de aplicación y facilitando el transporte e incorporación en el campo.

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2004, las características mínimas de un compost para ser apto de comercializarse como acondicionador orgánico natural de suelos son las siguientes.

**Tabla 1***Requisitos específicos de calidad para el compost en Colombia*

Parámetro para caracterizar en base seca	Límites permisibles
Contenido de cenizas	Máximo 60%
Contenido de humedad Para materiales de origen vegetal	Máximo 35%
Contenido de carbono orgánico oxidable total	Mínimo 15%
Contenido N total	Declararlos si cada uno es mayor al 1%.
Contenido P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	Declararlos si cada uno es mayor al 1%.
Contenido K <sub>2</sub> O total	Declararlos si cada uno es mayor al 1%.
Relación C/N	Declararla
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC	Mínimo 30 meq/100 g suelo
Capacidad de retención de humedad	Mínimo su propio peso
pH	Mayor de 4 y menor de 9
Densidad	Máxima 0.6 g/cm <sup>3</sup>
Metales pesados*	
Arsénico	41 mg/kg
Cadmio	39 mg/kg
Cromo	1200 mg/kg
Mercurio	17 mg/kg
Níquel	420 mg/kg
Plomo	300 mg/kg
Poblaciones <i>Salmonella</i> spp.	Ausente 25 g producto final
Poblaciones Enterobacterias totales	< 1000 UFC / g producto final

*Nota. Requisitos específicos de calidad para el compost en Colombia. ICONTEC, Norma*

*Técnica Colombiana NTC 5167 de 2004.*

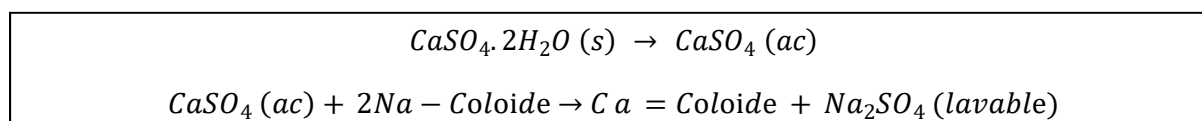
**Características y uso de sulfato de calcio Yeso:** tiene como componente principal el Sulfato de Calcio dihidratado (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), es una fuente que proporciona Ca (17-27%) y S

(14-18%), que puede usarse como una enmienda agrícola que mejora las propiedades fisicoquímicas de los suelos sódicos-salinos y suelos sódicos. (Raij, 2008).

El yeso solubilizado aumenta la concentración de los iones  $Ca^{+2}$  en la solución del suelo, con lo que se rompe el equilibrio del sistema ya que hay más Ca en la solución que el retenido por la fase intercambiable. Al buscar un nuevo equilibrio, el sistema libera los iones  $Na^+$  de los coloides y toma los iones  $Ca^{+2}$  de la solución. A través de este proceso es que ocurre el desplazamiento del Na por el Ca en el suelo.

### Figura 1

*Desplazamiento del exceso de iones Na del coloide por los iones Ca procedente de la disolución del yeso Brady y Weil*



*Nota. Desplazamiento del exceso de iones Na del coloide por los iones Ca procedente de la disolución del yeso Brady y Weil (como se cita en Ballestero, 2019).*

Cuando se quiere mejorar el efecto correctivo de la Cal en el perfil del suelo, sin profundizar en la preparación mecánica es conveniente la utilización de yeso, teniendo en cuenta que este estrictamente no modifica el PH de los suelos, pero si elimina aluminio tóxico, proporcionando calcio y generando un efecto en el subsuelo (Castro y Gómez, 2010).

Con la aplicación de yeso se suministra calcio y azufre a los vegetales, disminuye el nivel de Aluminio intercambiable y su actividad, incrementa el contenido de Ca y otros cationes en el suelo, recupera la macro porosidad de los suelos, aumenta el crecimiento y la profundidad de las raíces, mejora la estructura del suelo y reduce el Na en los suelos donde se ha acumulado. Sahin y Anapali (como se cita en Ballestero, 2019).

## Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló mediante la comparación de tres tratamientos, en suelos salinos con alta saturación de  $Mg^{+2}$ , procedentes de un sistema de cultivo de caña de azúcar variedad CC934418 ubicado en el municipio de Tuluá (Valle del Cauca) en suelos del orden Vertisol. Para la selección de los sitios de recolección del suelo se tuvo en cuenta la caracterización y zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca proporcionada por CENICAÑA.

**Vertisoles:** una de las características de los suelos de es el alto contenido de arcilla con valores en textura por encima del 30%, (predominio de minerales arcillosos del tipo 2:1) con manifestaciones notorias de expansión al humedecerse y contracción al secarse. Son ricos en arcillas expandibles, las cuales hacen que los suelos se agrieten cuando están secos y que las grietas desaparezcan cuando están húmedos. El estudio detallado de suelos ubica los vertisoles principalmente en piedemonte, en los cuerpos y pie de abanicos en cubetas de desborde y de decantación y en terrazas. (CENICAÑA, 2011).

Los subórdenes más frecuentes son:

*Ustert:* En abanicos aluviales y régimen de humedad ústico, ocupan el 22% del área en caña. (CENICAÑA, 2011)

*Aquerts:* En abanicos aluviales y llanuras de desborde del río Cauca, sin horizonte sálico hasta 75% de la superficie, en régimen de humedad acuico, con un 8,6% del área en caña. (CENICAÑA, 2011)

*Uderts:* Suelos en régimen de humedad udico, en tierras donde se observan grietas que se abren y se cierran una vez al año o más veces, sin que permanezcan abiertas por más de 90 días acumulativos en la mayoría de los años. ocupa menos del 1% del área en caña. (CENICAÑA, 2011).

*Suelos de la serie Burriga (Typic Endoaquert, familia muy fina):* Son suelos moderadamente profundos, con drenaje pobre pero artificialmente drenados, texturas muy finas, reacción ligera a moderadamente alcalina, saturación de bases alta, algunos afectados por sales y/o sodio, carbono orgánico bajo y fertilidad alta, en régimen de acuico. (CENICAÑA, 2011)

**Tabla 2**

*Tratamientos*

Tratamientos	Descripción
T1	Suelo magnésico + manejo convencional o testigo
T2	Suelo magnésico + Yeso Agrícola
T3	Suelo magnésico + Compost
T4	Suelo magnésico + Compost + Yeso

*Nota. Tratamientos de enmiendas agrícolas. Diseño experimental en laboratorio UNAD*

*Palmira-Valle. José Evelio Campos Murcia*

Para evaluar el efecto de la aplicación de las enmiendas agrícolas (cachaza y Yeso) se utilizaron kits comerciales de evaluación cuya funcionalidad es la de evaluar de forma colorimétrica; en contenedores de vidrio transparente con volúmenes de suelo conocidos, se emplearon las respectivas dosis y aplicaciones de las enmiendas agrícolas previamente calculadas. Para simular un riego del cultivo, se aplicó una lámina de riego estimando la capacidad de campo. Posteriormente se recolectaron los lixiviados derivados del proceso, para realizar las determinaciones establecidas en los objetivos, utilizando el laboratorio multipropósito de la UNAD, Cead Palmira.

## Figura 2

*Proceso para la determinación de las bases intercambiables*



*Nota. Proceso para la determinación de las bases intercambiables. Diseño experimental en laboratorio UNAD Palmira-Valle. José Evelio Campos Murcia*

**Determinación Colorimétrica del valor del pH:** Una mezcla especial de colorantes indicadores produce un color típico para cada valor pH.

**Rango:** de 4,0 – 9,0.

### **Metodología para la determinación del pH:**

1. Llenar ambos tubos de medida con 5 ml- de la muestra. Utilizar la jeringa de plástico.  
Colocar un tubo de medida en la Pos. A del comparador. Adición de reactivos solamente en el tubo de medida B
2. Añadir 4 gotas de pH-1, cerrar el tubo y mezclar.
3. Abrir el tubo y colocarlo en la Pos. B del comparador.
4. Desplazar el comparador hasta alcanzar la igualdad de color en la parte transparente.  
Hacer la lectura del valor de medida en la muesca de la lengüeta del comparador. Los valores intermedios pueden interpolarse. (Macherey–Nagel, 2022).

**Determinación colorimétrica de los iones Nitrito:** Los iones de nitrito forman en ambiente ácido con sulfanilamida una sal diazónica. Esto, acoplado a una naftilamina, produce en un colorante azoico rojo violáceo.

**Rango:** 0.02 – 0,5 mg/L NO<sub>2</sub>

**Metodología para la determinación Nitrito:**

1. Llenar ambos tubos de medida con 5 mL de la muestra. Utilizar la jeringa de plástico.  
Colocar un tubo de medida en la Pos. A del comparador. Adición de reactivos solamente en el tubo de medida B
2. Añadir 4 gotas de NO<sub>2</sub>-1, cerrar el tubo, mezclar
3. Añadir 1 cuchara medidora rasa NO<sub>2</sub>-2, cerrar el tubo, agitar hasta que se haya disuelto el polvo.
4. Después de 10 min abrir el tubo y colocarlo en la Pos. B del comparador.
5. Desplazar el comparador hasta alcanzar la igualdad de color en la parte transparente.  
Hacer la lectura del valor de medida en la muesca de la lengüeta del comparador. Los valores intermedios pueden interpolarse. (Macherey–Nagel, 2022).

**Determinación colorimétrica de los iones Nitrate:** Los iones nitratos se reducen a iones nitritos en medios ácidos. Estos forman con una amina aromática adecuada un colorante azoico amarillo anaranjado.

**Rango:** 1 – 120mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

**Metodología Nitrate:**

1. Llenar ambos tubos de medida con 5 ML de la muestra. Utilizar la jeringa de plástico.  
Colocar un tubo de medida en la Pos. A del comparador. Adición de reactivos solamente en el tubo B.
2. Añadir 5 gotas de NO<sub>3</sub>-1, cerrar el tubo, mezclar.

3. Añadir 1 cucharada medidora rasa de  $\text{NO}_3^-$ , cerrar el tubo, agitar inmediata y fuertemente durante 1 min.
4. Después de 5 min, abrir el tubo y colocarlo en la Pos. B del comparador.
6. Desplazar el comparador hasta alcanzar la igualdad del color en la parte transparente. Hacer la lectura del valor de medida en la muesca de la lengüeta del comparador. Los valores intermedios pueden interpolarse. (Macherey–Nagel, 2022).

**Determinación colorimétrica de los iones fosfato:** El molibdato de amonio forma ácido fosfomolibdico con los fosfatos. Este se reduce a azul de fosfomolibdeno.

**Rango:** 0,2-5 mg/L POCP

**Metodología Fosfato:**

1. Llenar ambos tubos de medida con 5 ml- de la muestra. Utilizar la jeringa de plástico.
2. Colocar un tubo de medida en la Pos. A del comparador. Adición de reactivos solamente en el recipiente de medida B
3. Añadir 6 gotas de  $\text{P O}_4^-$ -1, cerrar el tubo, mezclar.
4. Añadir 6 gotas de  $\text{P O}_4^-$ -2, cerrar el tubo. mezclar.
5. Después de 10 min abrir el tubo y colocarlo en la Pos. B del comparador.
7. Desplazar el comparador hasta alcanzar la igualdad de color en la parte transparente. Hacer la lectura del valor de medida en la muesca de la lengüeta del comparador. (Macherey–Nagel, 2022).

**Determinación Ph/ EC/ TDS. Testers HANNA instruments:** testers impermeable, con el que se pueden medir fácilmente pH, Conductividad de Electrolitos (EC), Sólidos Disueltos Totales (TDS), garantizando mediciones precisas y sensibles del agua de riego correspondiente a los cuatro tratamientos.

### Figura 3

*Proceso para la determinación PH/ EC/ TDS.*



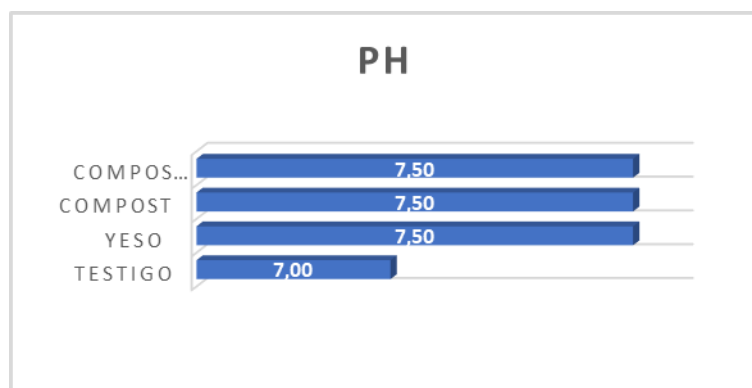
*Nota. Proceso para la determinación de las bases Proceso para la determinación PH/ EC/ TDS.*

*Diseño experimental en laboratorio UNAD Palmira-Valle. José Evelio Campos Murcia*

## Resultados

### Determinación Colorimétrica del valor del PH en aguas superficiales y residuales:

En el pH entre los tres tratamientos tuvo un aumento de 0.5 unidades comparado con las lecturas con el testigo de acuerdo con la determinación colorimétrica (Grafica 1).



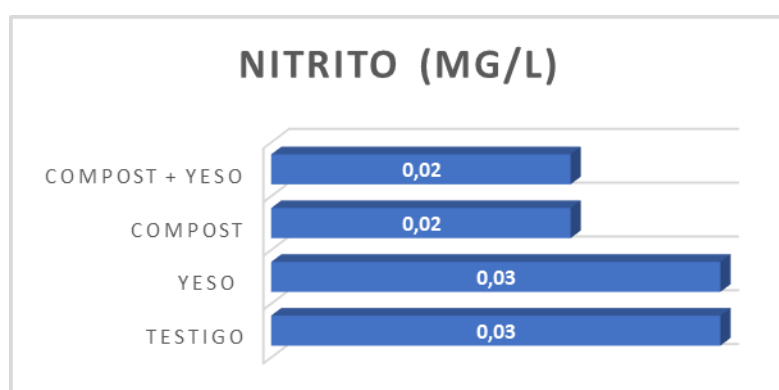
**Grafica 1.** Determinación de PH

El pH para este tipo de suelos está determinado por la presencia de iones  $\text{SO}_4^-$   $\text{HCO}_3$ , y  $\text{Na}^+$ , resultando un rango entre ligeramente ácidos a muy alcalinos. Torrente et al; (S.F). La aplicación de yeso, aunque contiene azufre no genera acidez a los suelos, El yeso de mina o de

síntesis química tiene un pH de 6.0-6.5 y la reacción que se sucede es casi neutra, siendo alrededor de solo 0.3 unidades de pH.

Estos valores de pH clasificados como ligeramente neutros y alcalinos pueden tener la respectiva tolerancia para el cultivo de caña de azúcar, sin embargo, los valores óptimos recomendados por CENICANÑA se encuentran dentro 6.5 y 7.1 (Quintero, 1993).

### **Determinación colorimétrica de los iones nitrito en las aguas superficiales y residuales:**

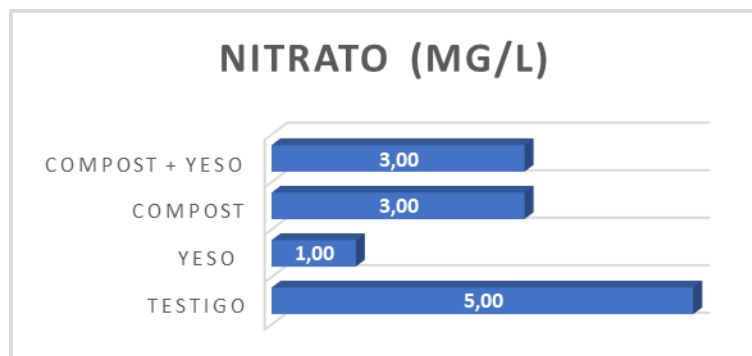


**Grafica 2.** Determinación Nitrito

Monsalve, Gutiérrez y Cardona (2017) afirman que las propiedades químicas del suelo juegan un papel fundamental en el proceso de mineralización del nitrógeno, ya que los microorganismos son sensibles a pH muy ácidos o muy alcalinos, al equilibrio iónico, a la concentración de C y de N y a procesos de oxidación e hidrólisis, además la mayoría de los suelos retienen con mayor facilidad los cationes; por tanto, aniones como nitrito y nitrato son lixiviados regularmente del medio. Al analizar la (gráfica 2), se observó que en la determinación colorimétrica de los iones Nitrito, en cada una de las diferentes enmiendas, el tratamiento de compost y el tratamiento compost + Yeso muestran valores similares de 0.02 mg/L, siendo a la vez inferiores en comparación al tratamiento de Yeso con un valor de 0.03 mg/L y al testigo con

un valor de 0.03 mg/L, determinando que la aplicación de enmiendas órgano minerales al suelo disminuye las pérdidas de los aniones de nitrógeno en los lixiviados.

### Determinación colorimétrica de los iones Nitrato en las aguas superficiales y residuales:



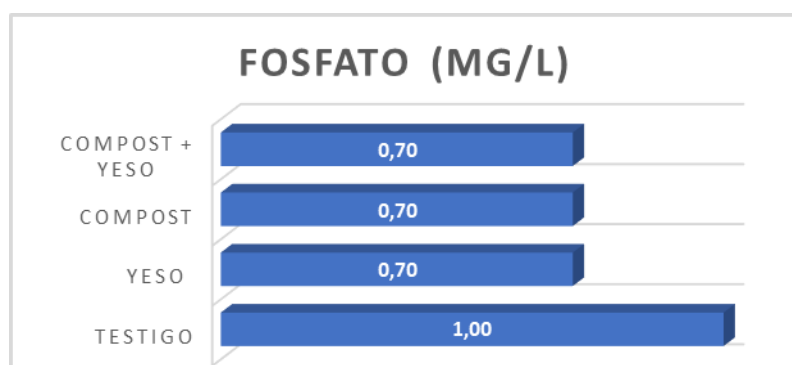
**Grafica 3.** Determinación Nitrato

Elejalde y Daza (2021) afirman que la baja lixiviación de nitrato en tratamientos con enmiendas órgano minerales posiblemente ocurra por la retención del amonio entre las capas estructurales de los minerales de las arcillas 2:1, favoreciendo su lenta liberación, iniciando el proceso de nitrificación. Teniendo en cuenta que gran parte de la lixiviación del nitrógeno es producida cuando la parte móvil de la reserva de nitrógeno mineral (nitrato) es arrastrado fuera de la zona de las raíces a causa de la degradación y pérdida de la materia orgánica del suelo, la lluvia intensa o un riego excesivo.

En resumen, Al analizar la (Grafica 3), se observó que en la determinación colorimétrica de los iones Nitrato, en cada una de los diferentes enmiendas, la aplicación del tratamiento de compost y el tratamiento de compost + Yeso muestran valores similares de 3 mg/L, que son inferiores en comparación al testigo con un valor de 5 mg/L, determinando que la aplicación de enmiendas órgano minerales al suelo disminuye las pérdidas de los aniones de nitrógeno en los

lixiviados pero superior al tratamiento con Yeso con 1 mg/L, determinando que el encalamiento mejora la mineralización de la materia orgánica, la velocidad de los procesos de amonificación y mineralización de compuestos sulfatados y fosforados son proporcionales al pH, y estos procesos ocurren mejor a pH cercano a la neutralidad (Fassbender, 1986).

#### **Determinación colorimétrica de los iones fosfato en las aguas superficiales y residuales:**



**Grafica 4.** Determinación Fosfato

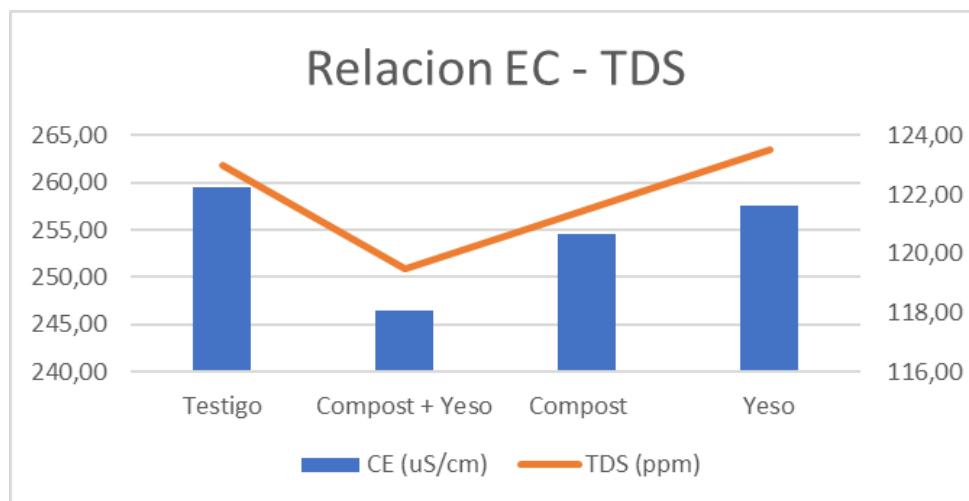
Al analizar la (Grafica 4), se observó en la determinación colorimétrica de los iones Fosfato, que los valores de cada uno de los diferentes tratamientos, que todas las aplicaciones con enmiendas, tratamiento de Yeso, tratamiento compost y tratamiento compost + Yeso muestran valores similares de 0.70 mg/L, determinando una mayor retención en comparación al testigo con valores de 1.0 mg/L. Comprendiendo que el P es uno de los nutrientes más limitantes para la productividad de la mayoría de los cultivos que se desarrollan en los suelos altamente degradados de los ambientes tropicales, Son muchos los factores que pueden intervenir en la adsorción de fosfatos, siendo el pH del suelo fundamental en el tipo de reacciones que ocurren y es quien controla el tipo de especie predominante del Po asimilable por las plantas.

Para este análisis fue importante tener en cuenta que el P puede liberarse a través de procesos de mineralización inducidos por la actividad enzimática de las fosfatasas y fitasas

excretadas por las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo. Estos procesos son altamente influenciados por la humedad del suelo, la temperatura, las propiedades físicas, pH y el potencial redox (Eh). El fósforo orgánico tiene una gran influencia en la biodisponibilidad global de P en el suelo Turner et al., (como se citó en Echeverri, 2018)

### Determinación Ph/ EC/ TDS. Testers HANNA Instruments:

La conductividad eléctrica (EC) determina el número total de sólidos en el agua, ya que entre más alta sea su valor mayor será el contenido de sales, las unidades de medidas más utilizadas los milisiemens por centímetro (mS/cm) y microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), además tiene una relación directa con concentración y tipo de sales disueltas en el agua (TDS), las cuales pueden influir desfavorablemente en el aprovechamiento de los cultivos. (Arshad & Shakoor, 2017).



**Grafica 5.** Relación TDS - CE

Al analizar los valores de la gráfica (5), se observó que el tratamiento de compost + Yeso con un valor EC de  $246,5 \mu\text{S}/\text{cm}$ , es el único que conserva unas características de calidad de agua excelentes, cuando se correlacionan con los rangos de la tabla 3. Seguido por el tratamiento de

Compost con un valor EC de 254  $\mu\text{S}/\text{cm}$  conservando unas características de calidad de agua buenas, demostrando que conforme se va produciendo la mineralización de la materia orgánica, va disminuyendo la CE en el suelo.

### Tabla 3

*Valores permisibles de CE en agua para riego Fipps*

<b>Valores permisibles de CE en agua para riego</b>	
<b>Clases de agua</b>	<b>Valores de conductividad en (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>
Clase 1: Excelente	250
Clase 2: Buena	250-750
Clase 3: Permisible	750-2000
Clase 4: Dudosa	2000-3000
<b>Clase 5: Inaceptable</b>	<b>3000</b>

*Nota. Valores permisibles de CE en agua para riego Fipps, G. (1995).*

## Conclusiones

- En suelos que poseen concentraciones de Mg en niveles cercanos o superiores a los de calcio, se observó que la aplicación de enmiendas órgano minerales al suelo favorecen la retención de agua y disminuye las pérdidas de los aniones de nitrógeno en los lixiviado en comparación al testigo, siendo la aplicación del Yeso con un valor de 1 mg/L, quien registra una menor lixiviación de nitrato y la que mejor actué en la mineralización de la materia orgánica, la velocidad de los procesos de amonificación y mineralización de compuestos sulfatados.
- En general no se detectaron diferencias significativas en las propiedades químicas del suelo, ya que los pH entre los tres tratamientos se sostuvieron en el mismo rango de (7.5), con un aumento de (0.5) en comparación a las lecturas del testigo de (7.0), siendo estos valores perfectamente tolerables por el cultivo de caña de azúcar, de acuerdo a los valores óptimos recomendados por Cenicaña de 6.5 y 7.1. Además, se observó que el tratamiento de compost + Yeso con un valor EC de 246,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , es el único que conserva unas características de calidad de agua excelentes, siendo el de menor contenido de sales en comparación a los otros tratamientos.
- Se determino que la aplicación de enmiendas órgano minerales al suelo disminuye las pérdidas de los aniones de nitrógeno en los lixiviados, siendo el tratamiento con Yeso quien registro la menor lixiviación de nitratos con un valor de 1 mg/L, determinando que el encalamiento mejora la mineralización de la materia orgánica, la velocidad de los procesos de amonificación.

## Bibliografía

Arshad, M., & Shakoor, A. (2017). Irrigation water quality. In *Water International* (Vol. 12, Issues 1–2, pp. 15–18). <https://doi.org/10.1080/02508068708686548>

Ballestero, J. (2019). Aplicación de Yeso agrícola en suelos con alta concentración de Sodio. Recuperado de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/30115/1/Ballestero%20vilaJohanaRoxana.pdf>

Castro H.; Gómez M. 2010. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Ciencia del suelo, principios básicos. pp. 77-137.

CENICANA (2011). Serie técnica N° 38. Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Recuperado de [https://www.cenicana.org/pdfprivado/serietecnica/st\\_38/st\\_38.pdf](https://www.cenicana.org/pdfprivado/serietecnica/st_38/st_38.pdf)

Echeverri, J. (2018). Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69611/39456768.2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Elejalde, C y Daza, M. (2021) Efecto de las enmiendas órgano minerales en la lixiviación de nitrógeno en dos inceptisoles. Recuperado de DOI: 10.15446/acag.v70n4.73962

García, A. (2001). Diagnóstico y control de la fertilidad en suelos afectados por sales y sodio. Recuperado de Biblioteca Digital MADR: Fertilidad de Suelos Diagnóstico y Control ([agronet.gov.co](http://agronet.gov.co))

García, A. (2015). Manejo de suelos con acumulación de sales. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2-Manejo-de-suelos-con-acumulacion-de-sales-Garcia-A.pdf>

Fassbender H. 1986. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. Primera edición.

Fipps, G. (1995). Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management. *Agrilife Extension*, 4(3), 1–17.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo NTC 5167 2004. Bogotá D.C.: El Instituto. 2004. 40 p.

Mantilla, G y León, L. (S.F). Estudios en suelos del valle del cauca con relación ca: mg invertida. Recuperado de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/23143/22222\\_2866.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/23143/22222_2866.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Macherey–Nagel (2022). Visocolor Eco – Visual and photometric test kits. Recuperado de <https://www.mn-net.com/water-analysis/visual-test-kits/visocolor-eco/?p=1>

Monsalve, O; Gutiérrez, J y Cardona, W. (2017) Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Recuperado de Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>

Quintero, R. (1993). Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes para la caña de azúcar. *CENICAÑA*, 6-11.

Raij V. B. 2008. Gesso na agricultura. Instituto agrônomico de Campinas.

Salgado, G., & al, e. (2003). *Caña de Azúcar: Hacia un Manejo Sustentable*. Tabasco, México. 369pp: Colegio de Postgraduados.

Torrente, A; García, A; Amezquita, E; Escobar, C; Sampayo, T. (S.F). Condiciones Físicas e Hidrodinámicas de Suelos Magnésicos en el Valle del Cauca, Colombia. Recuperado de [https:// journalusco. edu.co/ index.php/iregion/article/view/854/1645](https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/854/1645)

ZÉREGA ML., Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. 1993; <http://sian.inia.gob.ve>