

Poder reactivo de alcalinización de la cal y el travertino comercializada en las canteras del municipio de Málaga, Santander, Colombia.

Giraudys Tatiana Castro Dueñez, Rosmary Lizette Suarez González

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Forestal

Director

Julián Mauricio Botero Londoño

Ph.D. Producción Animal

Codirector

Elsa Judith Macías Bermúdez

Geóloga

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia- IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2018

Dedicatoria

Quiero dedicar este triunfo personal a DIOS por ser el dueño de vida, mi guía, mi ángel,
porque siempre estuvo ahí para darme un sabio consejo y levantarme en cada caída.

A mis padres Delmo Castro y María R. Dueñez quienes siempre creyeron en mí, me
apoyaron, estuvieron en los momentos difíciles y con su amor y perseverancia lograron que
culminara esta etapa de formación.

A mis Hermanos Heiner y Naidú, que fueron cómplices de esta aventura y quienes me
estuvieron en todo momento.

A mi rayo de Luz mi hija Laurent quien con su amor, dulcera y nobleza alegro mi vida y me
impulso a creer en mí y en mis capacidades.

A mi Tía María Santos quien me brindo un hogar cuando estuve lejos de casa.

A todos mis profesores y amigos que hicieron posible que este que algún día fue un sueño se
hiciera realidad.

Giraudys Tatiana Castro Dueñez

Dedicatoria

Dedico este logro principalmente a DIOS por guiarme en esta etapa, darme fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

A mis padres Eliecer y Azucena quienes con su amor, esfuerzo y paciencia me apoyaron a cumplir un sueño más.

A mis hermanas por estar presentes, por brindarme apoyo moral y darme una voz de aliento en aquellos momentos de debilidad.

Gracias a mis hijos Julián y Emanuel quienes son mi mayor inspiración, por entender el significado de hacer sacrificios, por comprenderme en aquellos momentos que no puede estar a su lado.

A Juan Pablo por apoyarme en todo momento y motivarme a ser una profesional.

Rosmary Lizette Suárez Gonzáles

“no es grande el que siempre triunfa sino el que jamás se desalienta”

(J.L Martin descalso)

Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestro director del Proyecto Julián Mauricio Botero por su disposición y ayuda incondicional, a nuestra Codirectora Elsa Judith Macías por sus sabios consejos, a la docente Erika Celis por su tiempo y paciencia.

Agradecemos primero a Dios por guiarnos en esta etapa de la vida y darnos fuerzas en los momentos de debilidad.

A la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Industrial de Santander, a sus docentes por brindarnos sus conocimientos para la formación como profesionales.

Finalmente, a todos aquellos amigos que nos acompañaron en esta travesía muchas gracias.

Tabla de Contenido

Introducción	16
1 Planteamiento del problema.....	18
1.1 Descripción del problema.....	19
1.2 Justificación.....	20
1.3 Hipótesis.....	21
2 Objetivos	18
2.1 Objetivo general.....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3 Marco referencial	22
3.1 Marco teórico.....	22
3.1.1 Piedra caliza	22
3.1.2 Suelos ácidos.....	23
3.1.3 Aluminio intercambiable.	24
3.2 Marco conceptual.....	24
3.2.1 El suelo.....	24
3.2.2 Análisis de suelo	24
3.2.3 Acidez de suelo	25
3.2.4 Clasificación de la acidez.....	26
3.2.5 Reacciones del suelo (el pH).....	26
3.2.6 Encalado.....	27

3.2.7 Calidad de los materiales de encalado	29
3.2.7.5 Naturaleza geológica.....	32
3.2.8 Poder relativo de neutralización (prnt):	32
3.2.9 Beneficios de la cal en el suelo:.....	32
3.2.10 Efectos de aplicación de la cal.....	33
3.2.11 Travertino.....	34
3.3 Marco legal.	35
3.4 Marco Histórico de investigación.....	36
4 Metodología.	37
4.1 Localización del proyecto.	37
4.2 Ubicación del sitio experimental.....	38
4.2.1 Etapa de campo	38
4.2.2 Etapa de laboratorio.	38
4.3 Materiales.....	38
4.3.1 Materiales de campo y oficina.	38
4.3.2 Disposición de los tratamientos en el laboratorio.....	39
4.3.3 Materiales, reactivos y equipos de laboratorio	39
4.4 Recolección de muestra.....	43
4.5 Determinación de los tratamientos.....	44
4.6 Diseño experimental.....	44
4.7 Análisis del laboratorio.....	44
4.7.1 Determinación de pH.....	45
4.7.2 Determinación de textura.....	45

4.7.3 Análisis de densidad aparente.....	46
5.4.3 Determinación de la acidez, aluminio e hidrógeno intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$).....	47
4.7.4 Cálculos.....	49
5 Análisis y discusión resultados.....	50
5.1 Análisis inicial del suelo.....	50
5.2 Análisis físico del suelo.....	51
5.3 Análisis de cal y travertino.....	52
5.4 pH en los tratamiento	54
6 Conclusiones	58
Referencias Bibliografía	60
Apéndices.....	¡Error! Marcador no definido.

Lista de Tablas

Tabla 1. Consideraciones generales para un análisis de suelo;	Error! Marcador no definido.
Tabla 2. Valores de pH corrientes en suelo.....	26
Tabla 3 Clasificación de las cales con base en su contenido de Mg	28
Tabla 4. Equivalentes químicos y composición de materiales de encalado puros.....	30
Tabla 5. Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tamaño de malla.	31
Tabla 6. Tratamientos en el Laboratorio	39
Tabla 7. Materiales, reactivos y equipo de laboratorio	39
Tabla 8. Análisis químico del suelo	51
Tabla 9. Saturación de Bases	51
Tabla 10. Análisis físico del Suelo.....	51
Tabla 11. Análisis fisicoquímicos de la Cal y el Travertino	52
Tabla 12. Análisis de pH en los diferentes tratamientos CAL Y TRAVERTINO	54
Tabla 13. Acidez, Aluminio e Hidrogeno Intercambiable en los Tratamientos.....	55

Lista de Figuras

Figura 1. Consideraciones generales para un análisis de suelo..... 23

Figura 2. Reacción del suelo y asimilación de los nutrientes, Ramírez (2011).**¡Error!**

Marcador no definido.

Figura 3. Mapa del área de estudio en San José de Miranda, Propia (2018). 37

Figura 4. Triángulo textural, Gandullo, J.M.,(1998)..... 46

Figura 5. Promedio de la Acidez, Propia (2018)..... 57

RESUMEN

TITULO	PODER REACTIVO DE ALCALINIZACIÓN DE LA CAL Y EL TRAVERTINO COMERCIALIZADA EN LAS CANTERAS DEL MUNICIPIO DE MÁLAGA- SANTANDER*
AUTOR	GIRAUDYS TATIANA CASTRO DUEÑEZ ROSMARY LIZETTE SUAREZ GONZALEZ **
PALABRAS CLAVE	ACIDEZ INTERCAMBIABLE, ALUMINIO INTERCAMBIABLE, HIDROGENO INTERCAMBIABLE, pH, TRATAMIENTOS.

DESCRIPCIÓN:

El encalado constituye la forma más efectiva de corregir los problemas de acidez en los suelos de bajo pH. Esta práctica agronómica se basa en la aplicación de sales básicas que neutralizan la acidez causada por la presencia de Al^{+3} e H^+ en el suelo. En la siguiente investigación se analizó el poder reactivo del $CaCO_3$ y el Travertino en un entisol con alta pedregosidad y fragmentos de rocas areniscas en las que el mineral que predomina en estos suelos es el cuarzo, con la finalidad de conocer su efecto de alcalinización en la cual se evaluaron cuatro tratamientos para cada muestra y cuatro dosis de enmienda (1.67, 3.33, 5.00, 6.67 g / 1 kg) entre los meses Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 2018 en donde se registraron variables de pH, acidez intercambiable, aluminio intercambiable e hidrogeno intercambiable además se realizaron análisis de textura y densidad aparente al suelo.

Los resultados del estudio en el laboratorio indicaron que el pH del suelo es extremadamente ácido, contiene bajo porcentaje de materia orgánica, azufre y fósforo y los mejores rendimientos fueron con el tratamiento de cal ($CaCO_3$) con mayor dosificación el cual incremento la variable de pH a corto plazo, disminuyendo así las variables de aluminio intercambiable y acidez intercambiable.

*Trabajo de Grado

**Instituto de Proyección Regional Y educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal.
Director: Julián Mauricio Botero, Ph.D. Producción Animal

ABSTRACT

TITLE REACTIVE POWER OF ALKALINIZATION OF THE CAL AND THE TRAVERTINO MARKETED IN THE QUARTERS OF THE MUNICIPALITY OF MÁLAGA- SANTANDER.*

AUTHORS GIRAUDYS TATIANA CASTRO DUEÑEZ
ROSMARY LIZETTE SUAREZ GONZALE**

KEYWORDS INTERCHANGEABLE ACIDITY, INTERCHANGEABLE ALUMINUM, INTERCHANGEABLE HYDROGEN, pH, TRATAMIENTOS.

DESCRIPTION:

Liming is the most effective way to correct acidity problems in low pH soils. This agronomic practice is based on the application of basic salts that neutralize the acidity caused by the presence of Al^{+3} and H^{+} in the soil. In the following investigation the reactive power of $CaCO_3$ and Travertine was analyzed in an entisol with high stoniness and fragments of sandstone rocks in which the mineral that predominates in these soils is quartz, with the purpose of knowing its effect of alkalization in the which four treatments were evaluated for each sample and four doses of amendment (1.67, 3.33, 5.00, 6.67 g / 1 kg) between the months June, July, August, September and October of 2018 where variables of pH, interchangeable acidity were recorded , interchangeable aluminum and exchangeable hydrogen, and texture and bulk density analysis were also performed on the soil.

The results of the study in the laboratory indicated that the pH of the soil is extremely acid, contains low percentage of organic matter, sulfur and phosphorus and the best yields were with the treatment of lime ($CaCO_3$) with higher dosage which increased the pH variable in the short term, thus reducing the variables of interchangeable aluminum and interchangeable acidity.

*Bachelor Thesis

** Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia- IPRED. Programa de Ingeniería Forestal.
Director: Julián Mauricio Botero, Ph.D. Producción Animal.

Introducción

El suelo es un recurso natural que dependiendo de la región geográfica de procedencia y su uso presenta características diferentes; constituyen un componente fundamental del ambiente el cual cumple múltiples funciones vitales para la supervivencia humana y las relaciones sociales. Entre los servicios ecosistémicos asociados al suelo se destacan: producción de alimentos, filtrado e intercambio de gases, depuración de la contaminación, regulación climática e hídrica, reciclaje de nutrientes, filtrado de agua, soporte para industria, infraestructura y turismo, entre otros (Blum, 2005; Bone et ál., 2010; Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

El pH es el principal indicador de las condiciones químicas del suelo, presenta variación debido al medio y condición donde se desarrollan, es así como suelos desarrollados en regiones con altas precipitaciones se lavan y pierden nutrientes generando pH altamente ácidos; sin embargo en regiones de menores cantidades de precipitación los suelos son ricos en nutrientes, que se refleja en pH que va desde neutro hasta alcalino Ibáñez (2007)

La acidez del suelo se origina por la presencia de iones Al^{+3} e hidrógeno (H^+), afecta directamente las propiedades biológicas y químicas del suelo, presentándose como limitante ante el crecimiento de las plantas, la disponibilidad de nutrientes tales como calcio, magnesio, fósforo y potasio, y al mismo tiempo contribuye con el incremento de aluminio y manganeso los cuales son tóxicos para la planta Molina (1998).

El requerimiento de cal en el suelo es definido como: “la cantidad de cal necesaria para llevar el pH de ese suelo hasta un valor deseado”. Para aumentar el pH del suelo se debe encalar; consiste en agregar sales alcalinas para neutralizar la acidez intercambiable que se cuantifica a través del contenido de hidrógeno y aluminio presente teniendo en cuenta que los

factores principales que determinan el requisito de cal de un suelo son: pH y capacidad de intercambio catiónico o capacidad tampón del suelo (Arévalo y Gauggel, 2014).

Con este análisis se pretende definir el poder reactivo de alcalinización de la Cal y el Travertino en la aplicación de cuatro tratamientos a distintas dosificaciones en un suelo con pH ácido conocido, ejecutado en el laboratorio, durante un tiempo determinado bajo condiciones climáticas adecuadas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Determinar el poder reactivo de alcalinización de la cal y el travertino producido en las canteras del municipio de Málaga, Santander.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la composición química de la Cal y Travertino producido en las canteras del Municipio de Málaga.
- Determinar el poder reactivo de alcalinización y el equivalente químico de la cal producida en las canteras del municipio de Málaga.
- Definir el poder de neutralización del aluminio de la cal y el travertino producido en las canteras de Málaga a través de tratamientos de laboratorio.
- Evaluar el efecto de cuatro tratamientos sobre las propiedades químicas de un suelo ácido en el laboratorio.

2. Planteamiento del problema

2.1 Descripción del problema

En la finca Guayacanal (vereda Sagamal) área de estudio de este proyecto, prevalecen suelos ácidos cuyo pH es inferior a 5,5 los cuales están asociados con un número de toxicidades (aluminio, manganeso) que reducen la capacidad de la planta para absorber otros elementos como lo son fósforo, magnesio y calcio. Este tipo de acidificación del suelo fue derivado posiblemente por causas naturales (tipo de textura, composición mineralógica, empobrecimiento de materia orgánica, acción climática) o por intervención humana (actividad ganadera, incorporación de residuos o fertilizantes ácidos, los desechos de la minería, con la oxidación de la piritita y sobre explotación de cultivos como el trigo), teniendo en cuenta que en este municipio de San José de Miranda estas actividades son la principal fuente de ingresos económicos para las familias.

La acidez del suelo es un factor limitante en la implementación de actividades forestales y agrícolas que den resultados a mediano y corto plazo, haciendo que no se permita la sustitución de las antiguas prácticas agropecuarias debido a que los suelos presentan deficiencia en elementos como el fósforo P el cual es encargado del crecimiento y desarrollo de las plantas lo que lleva a la aplicación de fertilizantes fosforados para obtener grandes niveles de productividad.

Los suelos ácidos presentan precipitación de fosfatos de aluminio altamente insolubles, lo que genera bajas concentraciones de fosfatos en el suelo y disminución en el desarrollo radicular generado por las altas concentraciones de aluminio Fernández (2007)

La Toxicidad de las plantas por metales pesados como el Al, Fe, Cu se debe a mecanismos de absorción, transporte, acumulación de los metales por la planta, mecanismos de toxicidad a nivel molecular, celular, interferencia con los procesos funcionales de las plantas, respuesta homeostática que en conduce algunas veces a la resistencia frente al metal Barceló (1992).

La capacidad de intercambio catiónica es el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/ 100g de suelo, por lo que si el pH es alto trae como consecuencia un incremento en las cargas negativas porque el aluminio se precipita y eso lleva a la disminución de la concentración de hidrogeniones. A valores altos de la CIC existe una gran disponibilidad de los diferentes elementos en el suelo. Menores a 10 meq/ 100g.s. son bajos entre 10 y 20 medios de 20 a 30 altos y mayores a 30 meq/100g.s muy altos Ramírez (1997).

Es por esto que se desea conocer por medio de un análisis experimental la capacidad de alcalinización de la cal en los suelos ácidos de la finca Guayacanal con base en sus características químicas y físicas buscando como resultado el aumento de pH entre 0,3 y 0,7 unidades por cada tonelada de cal añadida a una hectárea de suelo a través de la implementación de 4 tratamientos con 4 repeticiones en el laboratorio de la universidad Industrial de Santander Sede Málaga bajo condiciones controladas, para que sea implementado en zonas de vida semejantes y con factores abióticos y bióticos similares.

2.2 Justificación

La formación de las cordilleras colombianas da una variedad de ecosistemas esto debido a factores como lo son las posiciones latitudinales, longitudinales y altitudinales. Al hablar de ecosistemas se puede saber que los suelos de cada uno de estos sitios presentara un tipo de suelo a su vez diferente debido a procesos de orogénesis, meteorización entre otros, uno de los problemas que se denotan en los suelos ubicados en la parte este de la cordillera oriental de los

andes colombianos es la presencia de suelos ácidos debido a la naturaleza en la cual estos se forman (fluvio-lacustres) haciendo que las zonas de alta y media montaña presentan una evidente pérdida de materia orgánica dejando desprovisto a los suelos de que puedan hacer recirculación de nutrientes. Al tener presencia de suelos ácidos la mejor opción para hacer una corrección es la del uso de cal, la cual nos ofrece buenos resultados en la estabilización del pH, reduciendo los costos de producción del pequeño, mediano y gran productor en la zona Zapata (2004).

Con este proyecto deseamos determinar el poder reactivo de alcalinización de la cal producida en las canteras del Municipio de Málaga Santander, ya que esta reacción del carbonato permite determinar y analizar los cambios ocurridos en el suelo a medida que se dan las reacciones de neutralización. Este proceso de investigación se desarrollara en el finca Guayacanal del municipio de San José de Miranda, determinado por diferentes análisis de muestras en laboratorio, evaluación de los porcentajes de los elementos químicos que lo conforman y su efectividad en la zona estudiada con el fin de que sirva como referencia en lugares en donde se poseen los rangos de altura 2050 y 2950 m.s.n.m; una precipitación que oscila entre los 1.300 y 1.400 mm, y una temperatura promedio de 12-20°C (Eslava et al, 1986).

2.3 Hipótesis

Las dosis de carbonato de calcio y travertino controlan la acidez y eliminan los efectos tóxicos del Al^{+3} .

3. Marco Referencial

3.1 Marco teórico

3.1.1 Piedra caliza. Tarbuck , Lutgens y Baamonde (2005), indican que la caliza es una roca sedimentaria que está compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3), magnesio (Mg) y potasio (K); pura es de color blanco, pero su contenido en impurezas, como arcilla, óxido de hierro entre otros hace que pueda tener color crema, rojizo o gris. Reconocer este tipo de roca es muy fácil, teniendo en cuenta dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita; es menos dura que el acero y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico. El origen de este tipo de roca puede ser de agua dulce o de origen marino y componerse de material químicamente precipitado orgánico o detrítico.

San José de Miranda está ubicado al sur –oriente del Departamento de Santander en la provincia de García Rovira, limita por el norte con el Municipio de Málaga, por el sur con el Municipio de Covarachìa, por el oriente con el Municipio de Enciso y por el occidente con el Municipio de Molagavita.

Gran parte de la topografía del municipio es montañosa y sus pisos térmicos están ubicados desde los 900 m.s.n.m. punto más bajo que se encuentra sobre la margen del Río Chicamocha.

Esta amplia distribución de pisos térmicos le da una gran variedad de climas, que ofrecen ventajas para la producción de un extenso grupo de productos agrícolas y pecuarios. Su área total es de 80 kilómetros cuadrados. (Plan de ordenamiento territorial).

3.1.2 Suelos ácidos. Los suelos ácidos se refieren a aquellos que contienen un pH de valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año. Están asociados con un número de toxicidades (aluminio) y deficiencias (Molibdeno) y otras condiciones restringentes para las plantas. Un caso extremo de un suelo ácido es un suelo ácido sulfato (Fluvisoles Tionicos y Cambisoles Tionicos).

Existen dos bandas principales de suelos ácidos:

- ✓ En la zona norte templada húmeda, cubierta principalmente por bosques de coníferas.
- ✓ En la zona tropical húmeda, cubierta por la sabana y selva tropical Fassbender (1987)

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS DE SUELOS

pH (H ₂ O) 1:1	APRECIACIÓN	P ppm (BRAY II)	K meq/100g	%M.O CLIMA		%N.Total CLIMA			CIC meq/100g	SATURACIÓN DE BASES (SB) %		
				FRIJO	MEDIO	FRIJO	MEDIO	CÁLIDO				
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<5	<3	<2	<0.25	<0.15	<0.1	<10	<35	
EXTREMAMENTE ÁCIDO 4.6 - 5.0	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	5 - 10	3 - 5	2 - 4	0.26 - 0.5	0.16 - 0.3	0.1 - 0.2	10 - 20	35 - 50	
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO 5.1 - 5.5	ALTO	>40	>0.4	>10	>5	>4	>0.5	>0.3	>0.2	>20	>50	
APRECIACIÓN		RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			S.A.I % (SATURACIÓN DE ALUMINIO)		APRECIACIÓN	
		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	ce mmols/cm (dS/m)	PSI	CLASE			SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES	
FUERTEMENTE ÁCIDO 5.6 - 6.0		RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	0 - 2	NORMAL	<15		LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES	
MEDIANAMENTE ÁCIDO 6.1 - 6.5		K DEFICIENTE	>18	>30	>40	2 - 4	INFERIOR	LIMITE	15 A 30		LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES	
LIGERAMENTE ÁCIDO 6.6 - 7.3		Mg DEFICIENTE	>10	<1		4 - 8	A	S1	30 A 60		LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES	
NEUTRO 7.4 - 7.8		ELEMENTOS MENORES* (ppm)				>16	8 - 16	15%	S2			
LIGERAMENTE ALCALINO 7.9 - 8.4		CONTENIDO OPTIMO	Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4	Na				
MEDIANAMENTE ALCALINO 8.5 - 9.0		SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8	NaS1				
FUERTEMENTE ALCALINO >9.0		PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	8 - 16	NaS2			NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORÍA DE CULTIVOS	
EXTREMAMENTE ALCALINO		*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal. Boro en suelos (extractable en agua caliente) : 0.6 - 1.0 ppm. Boro en tejido vegetal : 30-80 ppm.					INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI LABORATORIO DE SUELOS ÁREA DE QUÍMICA					

NC(Nivel Crítico): 25 ppm NO₃; 20 ppm NH₄; NC: 0.2 ppm B(Fosfato de Calcio); NC: 12 ppm P (Disen modificado); NC: 20 ppm S disponible (Fosfato de calcio)

CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):
N (%): 2,5-4,5; P (%): 0,2-0,75; K (%): 1,5-5,5; Ca (%): 1,0-4,0; Mg (%): 0,25-1,0; S (%): 0,25-1,0
B (ppm): 10-200; Cu (ppm): 5-30; Fe (ppm): 100-500; Mn (ppm): 20-300; Zn (ppm): 27-100; Mo(ppm): 0,1-0,2; Cl (ppm): 100-600

Figura 1. Consideraciones generales para un análisis de suelo. Adaptado de Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2006). Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Sexta edición, Bogotá. D.C.: Imprenta Nacional, p 648

3.1.3 Aluminio intercambiable. El principal factor que determina el desarrollo de la acidez es la presencia de Al^{+3} en la solución del suelo. El Al^{+3} desplazado de los minerales arcillosos por otros cationes se hidroliza (reaccionan con una molécula de agua) para formar complejos monoméricos y poliméricos hidroxialumínicos.

Las reacciones de hidrólisis del Al^{+3} liberan H^{+} que contribuye a la acidez del suelo, este incremento en acidez promueve la presencia de más Al^{+3} que produce más H^{+} haciendo más complicado el control de la acidez (Fageria and Baligar, 2008; Havlin, et al., 2014; Haynes and Mokolobate, 2001).

3.2 Marco conceptual.

3.2.1 El suelo. Es un elemento fundamental del ambiente, conformado por materia orgánica, minerales, agua y micro-organismos que ejercen funciones relevantes para la superficie terrestre caracterizada por capas que resaltan su transformación debido a agentes climáticos, geomorfología y tiempo Cantú (2007).

3.2.2 Análisis de suelo. Es una herramienta importante para evaluar y determinar la carencia de sustancias químicas tales como nitrógeno, fósforo, magnesio entre otros presentes en las plantas, dado que el suelo es la fuente que brinda la mayoría de nutrientes, pueden ser vistos como el proveedor natural de la vegetación Cuesta (2010).

Los resultados del análisis del suelo tienen que ser considerados como índices, puesto que no representan la cantidad realmente disponible del nutriente en el suelo, por esta razón, es mejor considerar estos resultados en términos cualitativos y no cuantitativos Osorio (2012). En tal sentido, Zapata (2009), considera que tales índices de disponibilidad son específicos para

un método de extracción determinado. El principal objetivo del análisis, es evaluar la capacidad del suelo para suministrar nutrientes a la planta y con base en una apropiada interpretación, se pueden definir los niveles críticos y de toxicidad para cada elemento y para cada especie Alvarado (2007). Cuesta (2010) considera esencial para el manejo de la fertilidad del suelo en el trópico, el realizar adecuadas recomendaciones para aplicar los niveles satisfactorios de nutrientes. En este sentido, se hace además importante conocer el comportamiento normal de nutrición de la especie a establecer, para con ello poder obtener para Colombia plantaciones forestales con un buen desarrollo y crecimiento.

3.2.3 Acidez de suelo. Las altas concentraciones de Aluminio (Al^{3+}) e Hidrógeno activo (H^+) dan lugar a la acidez; el pH (potencial de hidrógeno) es la medida del grado de acidez o alcalinidad de un suelo. Un pH de 7.0 indica neutralidad, pero a medida que este valor disminuye el suelo se vuelve más ácido, de manera que, un pH de 6.0 es diez veces más ácido que un pH de 7.0. El significado práctico del pH en términos de acidez del suelo, es que afecta significativamente la disponibilidad y la asimilación de nutrientes, y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del suelo Castellanos, (2014).

La acidificación contribuye al empobrecimiento de los suelos ocasionado por la pérdida de K^+ , Na^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} y el incremento de Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+4} (Zapata, 2004). Un suelo forestal (suelo de bosques naturales) tiende a ser ácido debido a su alto porcentaje de aluminio; es por esto que se busca la productividad de los suelos de los trópicos por medio de prácticas adecuadas de alcalización para mejorar el rendimiento de plantaciones Caires et al. (2006).

3.2.4 Clasificación de la acidez. La acidez incide directamente en la fertilidad de un suelo ocasionando una alteración en la solubilidad de algunos nutrientes para las plantas como lo son N, K, P y a su vez perjudicando la producción agrícola (Raúl. D. Zapata Hernández. Medellín, 2004); la acidez se clasifica de la siguiente manera (Espinosa y Molina, 1999; Zapata (2004).

3.2.4.1 Acidez activa. Hidrógeno (H⁺) disociado en la solución del suelo y proveniente de diferentes fuentes. Se determina cuando se mide el pH del suelo.

3.2.4.2 Acidez intercambiable. Hidrógeno y aluminio intercambiables (H⁺, Al³⁺) se expresa en meq/mL o cmol (+)/L. (Molina, 1998).

3.2.4.3 Acidez no intercambiable. Hidrógeno en enlace covalente en la superficie de los minerales arcillosos de carga variable.

3.2.4.4 Acidez potencial. *Acidez intercambiable + acidez no intercambiable.*

3.2.5 Reacciones del suelo (el pH). Es una variable compuesta por iones de H en el suelo, que origina según su valor entre 6.5 y 7.3 suelos neutros, mayores de 7,3 suelos básicos y menores de 6,5 suelos ácidos; es por esto que la disponibilidad de los nutrientes para las plantas se obtiene a partir de valor del pH (Kemmitt *et al.*, 2006).

Tabla 1.
Valores de pH corrientes en suelo

Designación	pH	Designación	pH
Ultra ácido	< 3,5	Neutro	6,6 - 7,3
Extremadamente ácido	3,5 - 4,4	Ligeramente alcalino	7,4 - 7,8
muy fuertemente ácido	4,5 - 5,0	Moderadamente alcalino	7,9 - 8,4
fuertemente ácido	5,1 - 5,5	Fuertemente alcalino	8,5 - 9,0

moderadamente ácido	5,6 - 6,0	muy fuertemente alcalino	> 9,0
ligeramente ácido	6,1 - 6,5		

Nota: Valores de pH para los suelos. Adaptado de Espinosa, J y Molina, E (1999). Acidez y encalado de los suelos. Quito, Ecuador: International Plant Nutrition Institute.

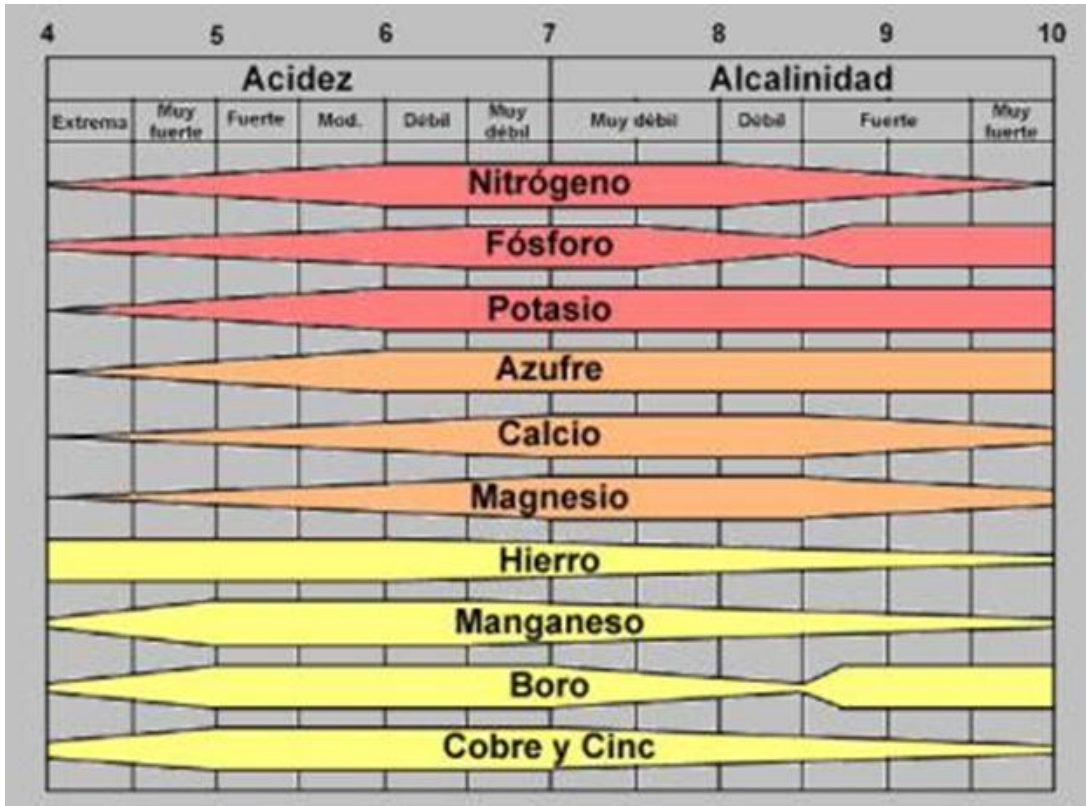


Figura 2. Reacción del suelo (pH) y la asimilación de los nutrientes. Adaptado de Martínez, G. (2005). Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. Córdoba, Colombia: INTERCIENCIA.

3.2.6 Encalado. Consiste en adicionar al suelo elementos químicos como calcio y magnesio para neutralizar la acidez, es decir, para que el pH logre un nivel ideal reduciendo el porcentaje de aluminio y manganeso tóxico y a su vez una mejor producción del cultivo y plantación.

Argüello, (2012) indica que el encalado aplicado correctamente proporciona resultados satisfactorios a corto y largo plazo. La fertilización y modificación de la acidez de los suelos resultan productiva cuando son interpretadas con los análisis del suelo.

Osorno, (2012) indica que el encalado es una práctica agrícola que se usa para mejorar las características físicas, químicas, y microbiológicas del suelo.

Espinosa, (1993) indica que los carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg) neutralizan la acidez de un suelo.

Existen varios materiales que son capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH. Entre los más comunes se pueden citar los siguientes.

3.2.6.1 Oxido de calcio. El óxido de calcio (CaO), obtenido del calcinado al horno piedra caliza Calcita.

(Bernier and Alfaro 2006) señala que la roca caliza o calcita, está compuesta principalmente de carbonato de calcio (CaCO₃), es el material más utilizado para la corregir de la acidez.

3.2.6.2 Cal Dolomita CaMg (CO₃)₂. Otro material utilizado como tratamiento para el control de la acidez constituido por CaCO₃ y carbonato de Mg (MgCO₃) en un mismo cristal. Cuando el material es puro contiene aproximadamente 22 % de Ca y 13 % de Mg (Jaramillo, 2002).

Tabla 1.

Clasificación de las cales con base en su contenido de Mg

Material	Mg (%)	MgO (%)	MgCO ₃ (%)
Calcítico	< 3	< 5	< 10
Magnesio	3_7	5_12	10_25
Dolomítico	>7	>12	> 25

Nota: Clasificación de las cales con base en su contenido de Mg. Adaptado de Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A.C. Acidez del suelo y encalado, Mexico: ANFACAL, Recuperado <http://anfcal.org/pages/biblioteca-digital/agricultura.php>

3.2.6.3 Hidroxilo de Calcio. (Bernier and Alfaro 2006) señalan que se conoce como cal apagada o cal hidratada CaOH. Se obtiene a partir de la reacción del CaO con agua, lo que produce la siguiente reacción:



Reacciona rápidamente con el agua del suelo, En forma pura contiene un 56 % de Ca. Tanto el óxido como el hidróxido de calcio son recomendables para su aplicación en cobertera por su acción rápida.

3.2.6.4 Oxido de Magnesio. Presenta una concentración de 60 % de Mg Con capacidad elevada de neutralizar la acidez. (Jaramillo, 2002).

3.2.6.5 Magnesita. Compuesta por carbonato de magnesio (MgCO₃), con un contenido de Mg de 28.5%. (Jaramillo, 2002).

3.2.7 Calidad de los materiales de encalado. La calidad se fundamenta en pureza del material, forma química, tamaño de las partículas y poder relativo de neutralización total.

3.2.7.1 Pureza. Es una característica importante de los materiales de encalado que reconocen su composición química y los contaminantes presentes (arcilla, materia orgánica y otros materiales). Para determinar la pureza se utiliza el criterio del equivalente químico (EQ) que es una medida del poder de neutralización de una cal en particular al cual se le asigna un valor de 100% (Molina E. 1999).

Tabla 2.

Equivalentes químicos y composición de materiales de encalado puros

Material	Equivalente Químico (EQ)	Fórmula	Contenido de Ca (%)	Contenido de Mg (%)
Carbonato de calcio	100	CaCO ₃	40	
Dolomita	108	CaCO ₃	21.6	13.1
óxido de calcio	179	CaO	71	
Hidróxido de calcio	138	Ca(OH) ₂	54	
Hidróxido de magnesio	172			41
Carbonato de Magnesio	119			28.5
Oxido de Magnesio	248	MgO		60
Silicato de Calcio	86	CaSiO ₃	34.4	
Silicato de Magnesio	100	MgSiO ₃		24

Nota: Equivalentes químicos y composición de materiales de encalado. Adaptado de J. Espinosa y E. Molina (1999). Acidez y encalado de los suelos. Quito, Ecuador: International Plant Nutrition Institute.

En la tabla 3 podemos observar la capacidad de neutralización de algunos materiales en donde los hidróxidos e óxidos presentan un favorable potencial de neutralización aún mejor que el carbonato de calcio puro y a su vez el óxido de magnesio constituye la forma química más eficaz para neutralizar la acidez del suelo, por lo tanto, 100 kg de MgCO₃ tiene una acción similar a 119 kg de CaCO₃ o mejor aún 100 kg de MgO tienen una acción equivalente de 248 Kg de CaCO₃.

Como norma internacional se considera que los materiales con menos de 80% de equivalente de CaCO₃ (32% de Ca) son de baja calidad, de acuerdo con el criterio utilizado en Estados Unidos (Nicholaides 1983). La misma legislación norteamericana establece los siguientes contenidos mínimos: Oxido de calcio EQ = 140 (56% Ca); hidróxido de calcio EQ = 110 (44% Ca). La legislación brasileña acepta un valor mínimo de EQ = 67% para calcarios molidos (Alcarde, 1992).

El EQ de un material de encalado se puede calcular utilizando las siguientes fórmulas:

$$EQ \text{ CaCO}_3 = \text{CaO} (\%) * 1.79 + \text{MgO} (\%) * 2.48$$

$$EQ \text{ CaCO}_3 = \text{CaO}_3 (\%) * 1 + \text{MgCO}_3 (\%) * 1.19$$

Las constantes hacen referencia al EQ ya establecido por la Legislación norteamericana para cada material.

3.2.7.2 Tamaño de la partícula. Para valorar la eficiencia granulométrica, es necesario llevar una cantidad determinada del material de encalado y someterlo a una secuencia de mallas en donde nos arrojará la eficiencia relativa, tal como se indica en la tabla 3 a mayor pureza mayor velocidad de reacción.

Tabla 3.

Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tamaño de malla.

Número de malla	Dimensión (mm)	Eficiencia relativa (%)
< 8 mesh	>2.36	0
8_20 mesh	2.36_ 0.85	20
20_40 mesh	0.85_ 0.42	40
20_60 mesh	0.85_ 0.25	60
> 60 mesh	< 0.25	100

Nota: Eficiencia relativa granulométrica de la cal. Adaptado de Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A.C. Acidez del suelo y encalado, México: ANFACAL, Recuperado <http://anfocal.org/pages/biblioteca-digital/agricultura.php>

3.2.7.3 Reactividad. Es aquella que determina la velocidad de acción de un material en la corrección de acidez de un suelo y está dada según eficiencia relativa granulométrica; se puede caracterizar según sus fracciones:

- **Muy gruesa:** Baja reactividad, bajo efecto de alteración de acidez en mayor tiempo.
- **Finas:** Buena reactividad, excelente efecto de alteración de acidez en corto plazo.
- **Excesivamente finas (talco):** Porcentaje de pérdida en exceso debido a que pueden ser alteradas por factores externos como el aire o el agua (Alcarde, 1992).

3.2.7.4 Contenido Nutricional. Son concentraciones (ppm) de elementos nutritivos para las plantas adicionales al Calcio y Magnesio tales como Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo) y Cobalto (Co) (Valadares et al, 1974).

3.2.7.5 Naturaleza Geológica. Se puede decir que los calcáreos de origen “sedimentar” presentan mejor reactividad en comparación con los de origen metamórfico debido a que están catalogados como rocas más duras (Alcarde, 1992).

3.2.8 Poder relativo de neutralización (prnt). Indica que porcentaje de cal, expresada por su equivalente químico, es capaz de reaccionar en un lapso de 3 meses, fórmula para calcularlo:

$$\text{PRNT (\%)} = \frac{\% \text{ECaCO}_3 * \% \text{ERg}}{100}$$

Donde; ECaCO_3 = Equivalente Porcentual en Carbonato de Calcio; ERg = Eficiencia relativa granulométrica porcentual

Este método estadístico fue tomado del libro “Acidez y encalado de los suelos” (Molina E.1998) y se aplicó para la determinación del % de cal y travertino de los tratamientos.

3.2.9 Beneficios de la cal en el suelo. La cal presenta los siguientes beneficios:

- Aporta un nutriente esencial para las plantas como lo es el calcio el cual brinda alimento a las raíces y neutraliza la acidez del suelo.
- Progresa la estructura de los suelos, en gran parte los arcillosos ya que se vuelven menos compactos y los ahueca, permitiendo que puedan absorber el agua del riego o la de la lluvia.
- Disminuye la acidez del suelo (incrementa el pH) permitiendo la precipitación del Al^{3+} como AlOH_3 que es un compuesto insoluble y a su vez elimina de esta forma el efecto

toxico del Al^{+3} en las plantas (Bohn, *et al.*, 2015; Brady and Weil, 2008; Espinosa y Molina, 1999).

3.2.10 Efectos de aplicación de la cal. La cal se puede utilizar para corregir los siguientes aspectos del suelo.

3.2.10.1 Toxicidad del aluminio. El término “toxicidad ” en el caso del aluminio se alude a varios aspectos que impide el normal desarrollo de las plantas sensibles a la acidez, lo que reduce su crecimiento y desarrollo.

La presencia de altas concentraciones de Al en la solución del suelo inhiben también la absorción de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) por las plantas (Veronese, *et al.*, 2010).

3.2.10.2 Fijación del nitrógeno. La acidez restringe la actividad de la mayoría de los microorganismos del suelo. Con el encalado se mejora las condiciones para un adecuado desarrollo de la actividad microbiana. La fijación biológica de N es uno de los procesos que se ven favorecidos por el encalado (Bernier y Alfaro 2006).

3.2.10.3 Disponibilidad de fósforo. La relación que hay entre el pH del suelo y el tipo de arcilla es importante para diferenciar los mecanismos envueltos en la disponibilidad del fósforo (P). La aplicación de cal mejora la disponibilidad del fósforo aplicado luego del encalado a causa de que la cal bloquea determinados sitios reactivos del complejo coloidal, evitando que estos atraigan a los iones de fosfato que están en el suelo y los retengan. Por ende va a quedar más fósforo a disponibilidad de las plantas. (Bernier y Alfaro, 2006).

3.2.11 Travertino. Es una piedra que se caracteriza por presentar una textura imperfecta, conteniendo cavidades y poros irregulares, fue bastante utilizada en la década de 1970 y en la actualidad está siendo comercializada debido a su calidad, variedad de colores normalmente blanco, beige, rojo, amarillo, café con diferentes acabados (Díaz, 2016).

Es una Roca carbonatada, normalmente de colores pardos, anaranjados o grises, pero también rojizos por presentar óxidos de hierro, de estructura muy oquerosa y poco densa, que puede presentar bandas con diferente porcentaje de huecos y coloraciones. Puede contener fósiles de moluscos terrestres y acuáticos de agua dulce, así como impresiones de distintas partes de vegetales (Mellinas, 2015).

El travertino se forma en aguas termales y/o cuevas de piedra caliza. Este no es el mismo que el mármol o piedra caliza que cae en la categoría de roca metamórfica. Las características más relevantes que presenta la piedra del travertino son los agujeros dentro de la piedra que son originados por la evasión de dióxido de carbono (Mellinas, 2015).

3.2.11.1 Proceso de extracción. Para extraer el travertino de la superficie vertical de la cantera, los trabajadores perforan agujeros en la piedra delineando un bloque de 6 metros de altura por 12 metros de ancho y 2 metros de profundidad. El método tradicional consiste en perforaciones con martillo de mano realizadas en líneas rectas con espaciamiento de 48 cms entre taladros.

3.2.11.2 Usos. Los travertinos ya fueron utilizados por los romanos para hacer el teatro de Cartagena. Travertino tiene una amplia gama de aplicaciones interiores, incluyendo suelo, azulejos de mosaico, anillos de la chimenea, bañera, tocadores etc.

3.2 Marco Legal.

Política nacional para la gestión integral ambiental del SUELO (GIAS)

La Constitución Política de 1991 establece el marco general para el uso, acceso y conservación de los componentes del ambiente (entre ellos el suelo); la misma, otorga una importancia fundamental al tema ambiental, al establecer como uno de los principios la obligación del Estado y de las personas de proteger las riquezas culturales y naturales de la nación y para ello, determina que el Estado Colombiano debe proteger tanto la diversidad como la integridad del medio ambiente.

El Decreto Ley 2811 de 1974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente), se señala que, el uso del suelo debe realizarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos. Adicionalmente, indica que, se debe determinar su uso potencial y clasificación según los factores físicos, ecológicos y socioeconómicos de cada región. Igualmente en esta norma se señaló que, el aprovechamiento del suelo debe efectuarse manteniendo su integridad física y su capacidad productora, lo cual es complementado con el deber de todos los habitantes de colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado del mismo.

Resolución 0170 de 2009 del MADS se declaró el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos; además se le asigna al Ministerio, entre otras la obligación de formular políticas y expedir normas, directrices e impulsar planes, programas y proyectos dirigidos a la conservación, protección, restauración, recuperación y rehabilitación de los suelos.

Decreto 1076 de 2015 en su artículo 2.2.1.1.18.6 establece entre las obligaciones de los propietarios de predios para la protección y conservación de suelos:

Usar los suelos de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos de tal forma que se mantenga su integridad física y su capacidad productora, de acuerdo con la clasificación agrológica del IGAC y con las recomendaciones señaladas por el ICA, el IGAC y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Proteger los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos, que eviten la salinización, compactación, erosión, contaminación o revenimiento y, en general, la pérdida o degradación de los suelos.

Mantener la cobertura vegetal de los terrenos dedicados a ganadería, para lo cual se evitará la formación de caminos de ganado que se producen por sobrepastoreo y otras prácticas que traigan como consecuencia la erosión o degradación de los suelos.

3.3 Marco Histórico

Hugo Rolando Jordán Portillo (1994) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mediante la publicación de su tesis titulada Evaluación de dos metodologías y cuatro relaciones de Ca/Mg en la estimación de cal para los suelos ácidos serie cristalina en condiciones de invernadero en arroz (*Oriza sativa* L.) como planta indicadora.

Artículo de investigación científica y tecnológica Para citar este artículo: Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541.

Rev.MVZ Córdoba 13(2):1380-1392, 2008 “CRECIMIENTO DE *Brachiaria decumbens* Stapf Y *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst EN SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS DE CÓRDOBA” cuyo objetivo fue evaluar el efecto químico de dosis de cal en suelos sulfatados

ácidos (SSA) y las respuestas fisiológicas de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst y *Brachiaria decumbens* Stapf.

4. Metodología

4.1 Localización del proyecto.

El proyecto tiene como punto de referencia las Canteras del municipio de Málaga, Santander, la muestra de suelo fue tomada de la finca Guayacanal ubicada en la vereda Sagamal del municipio de San José de Miranda, con una área de 3,7 ha; vía de acceso por camino de herradura a 20 minutos del casco urbano del municipio de San José de Miranda, Santander.

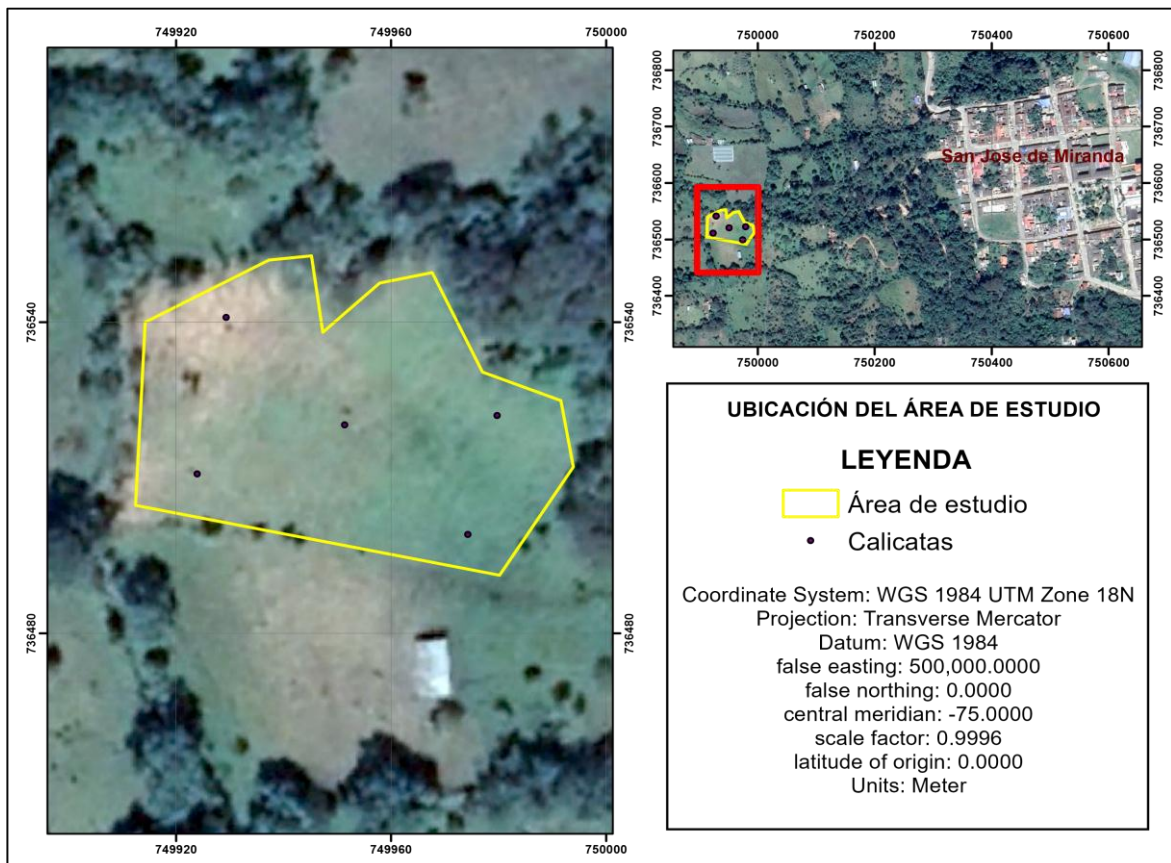


Figura 3. Mapa del área de estudio en San José de Miranda.

4.2 Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Química de la Universidad Industrial de Santander, Sede Málaga, en dos etapas que se describen a continuación:

4.2.1 Etapa de campo. Esta etapa se llevó a cabo en la finca el Guaya canal de la vereda de Sagamal del municipio de San José de Miranda Santander.

4.2.2 Etapa de laboratorio. Se ejecutó en las instalaciones del laboratorio de Química de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga.

4.3 Materiales

4.3.1 Materiales de Campo y Oficina. Los materiales utilizados en campo fueron:

- Suelo recolectado en la finca
- Libreta de campo
- Pica
- Pala
- Costales de fibra
- Barreno
- Cámara fotográfica
- Cilindro

4.4 Disposición de los Tratamientos en el laboratorio

Tabla 4.

Tratamientos en el Laboratorio

Tratamiento	Matriz de la muestra	Dosificación de la muestra (gr)	Suelo (kg)
1	Cal	1,67	1
2	Cal	3,33	1
3	Cal	5,00	1
4	Cal	6,67	1
5	Travertino	1,67	1
6	Travertino	3,33	1
7	Travertino	5,00	1
8	Travertino	6,67	1

4.5 Materiales, reactivos y equipos de laboratorio

Tabla 5.

Materiales, reactivos y equipo de laboratorio

Variable	Equipo	Reactivo
pH	pH metro	40 ml de agua destilada
	Vaso de 100ml	
	Soluciones estándar tapón	
	Agitador	
	40 gr de suelo seco al aire y tamizado por 2 mm	
	Toallas absorbentes	

	Vasos plásticos de 7 oz	
	Balanza	
	Espátula metálica acanalada	
Textura (Bouyocus)	Hidrómetro	Alcohol amílico
	Probetas de 1000 ml (Bouyoucos) y agitador	Agente dispersante hexametafosfato de sodio
	Vaso de precipitado de 500 ml	
	Varilla de vidrio	
	Vaso plástico	
Densidad Aparente	Cilindros biselados	
	Horno	
	Balanza	
	Bandejas	
	Muestra de suelo	
Acidez, Aluminio e Hidrogeno intercambiable	Equipo de filtración al vacío con aditamentos	Agua Destilada

Balanza de precisión

Cloruro de potasio 1N
pesar 74.6 g de KCl
disolver en agua
destilada y llevar a
volumen de 1L

Titulador Metrohm
Dosimat

Hidróxido de sodio
2N: pesar y disolver
83 g de NaOH en
agua destilada. Llevar
al volumen de 1 L

Agitador recíproco

Hidróxido de sodio
0,2N: medir con
pipeta aforada 100 ml
de la solución de
NaOH 2N. Llevar a
un balón aforado de 1
L y completar el
volumen con agua
destilada;

<p>Suelo secado al aire y tamizado por 2 mm</p>	<p>Ácido clorhídrico 0.1N: a partir de una solución con normalidad conocida estandarizar la solución 0.1N</p>
---	---

<p>Erlenmeyer con tabuladora lateral de 500 ml</p>	<p>Fluoruro de Sodio al 4%: pesar 20 g de NaF, disolver en agua y llevar a volumen de 500 ml en balón aforado.</p>
--	--

Embudo Buchner de porcelana de 9 cm de diámetro interno

Probeta de 50 ml

Papel de filtro de 9 cm de diámetro

Tapón de caucho N° 8 o de diámetro de la boquilla del Erlenmeyer

Frasco lavador de 1000
ml

Espátula

Barra de agitación
magnética

Soporte universal con
pinza para bureta

Pipeta aforada de 50 ml

Bureta volumétrica de 25
ml

Balones aforados de 1 L,
500 ml y de 100 ml

Erlenmeyer de 100 ml

4.6 Recolección de muestra

Se tomaron muestras de suelo en la Finca el Guaya canal para enviarlas a estudio a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria **CORPOICA**; centro de investigación Tibaitata para obtener el análisis de la muestra de suelo tal como pH, materia Orgánica, nutrientes presentes entre otros.

Se procedió a determinar el pH para verificar la acidez del suelo, además se ejecutó el método del cilindro para determinar la densidad aparente del suelo.

Por último se recolectó la muestra de suelo para llevar a cabo el montaje propuesto de los tratamientos, el cual fue transportado a las instalaciones del laboratorio de la Universidad

Industrial de Santander donde se procedió a tamizar para hacer el diseño experimental planteado en el proyecto.

4.7 Determinación de los tratamientos

Tratamiento uno: Dosis de 1000 kg/ha

Tratamiento dos: Dosis de 2000 kg/ha

Tratamiento tres: Dosis de 3000 kg/ha

Tratamiento cuatro: Dosis de 4000 kg/ha

4.8 Diseño experimental

Para el análisis se desarrolló un diseño de bloques completamente al azar utilizando unidades experimentales de $1m^2$, cuatro bloques con cuatro repeticiones para cada unidad experimental para un total de 32 muestras.

4.9 Análisis del laboratorio

Se utilizó una muestra de suelo seco y tamizado para la determinación de pH, textura, acidez intercambiable y Al^{+3} que representan los valores de las condiciones de acidez natural del suelo antes de incorporar los tratamientos de cal y travertino los análisis se realizaron utilizando las metodologías propuestas por métodos analíticos del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006).

4.9.1 Determinación de pH. El pH de las muestras se determinó por medio del potenciómetro en una suspensión de 40 ml de agua destilada y 40 gr de suelo seco.

4.9.1.1 Procedimiento. Se calibro el pH metro con las soluciones de pH conocido, se pesó 40 gr de suelo seco y preparado en un vaso de 100 ml y luego se adicionaron 40 ml de agua destilada agitando la suspensión durante tres minutos y dejando reposar durante una hora para que se homogenice todas las partículas de suelo con el agua. Luego de este tiempo se puso en contacto esta mezcla con un potenciómetro para tomar la lectura del pH.

Los análisis de pH y aluminio intercambiable fueron realizados en el laboratorio de química de la universidad Industrial de Santander; con periodos de 15 días para toma de pH y 30 días para toma de aluminio intercambiable.

4.9.2 Determinación de textura. La textura de la muestra de suelo se determinó teniendo en cuenta el método de Bouyoucos

4.9.2.1 Procedimiento. Se pesaron en vaso plástico 50 gr de suelo depositando la muestra en un vaso de precipitado agregándole 15 ml de agente dispersante y 100 ml de agua destilada; se dejó reposar la muestra por un periodo de 15 minutos, luego se agitó mecánicamente durante 10 minutos para llevarla a la probeta de bouyoucos y así completar un volumen de (1000ml) con agua corriente; posteriormente fue agitada durante 1 minuto la suspensión de la probeta para introducir el hidrómetro y a su vez eliminar la espuma utilizando 2 gotas de alcohol amílico.

Pasados 40 segundos se procedió a realizar la primera lectura del hidrómetro dejando en reposo 2 horas para registrar la segunda lectura teniendo en cuenta el control de la temperatura durante el procedimiento.

4.9.3.1 Procedimiento. Se tomaron 3 muestras de suelo en el área de estudio las cuales fueron dejadas a temperatura ambiente durante 3 días, luego se llevaron al laboratorio para realizar los pesajes de la muestra humedad y a su vez colocarla en las bandejas las cuales fueron depositadas en el horno a temperatura de 105°C por un periodo de 24 horas. Pasado ese tiempo se retiró la muestra del horno y se llevó a la balanza para obtener el peso de la muestra seca.

Luego se calculó por medio de la fórmula de densidad aparente:

$$DA = \frac{\text{peso seco}}{\text{volumen del cilindro}} * 100$$

4.9.4 Determinación de la Acidez, Aluminio e Hidrógeno intercambiable (Al+3 + H+).

La determinación de la acidez (aluminio e hidrógeno intercambiable) se efectuó extrayendo el H + Al+3 con solución de cloruro de potasio KCl 1N.

4.9.4.1 Procedimiento. Se llevó a cabo en dos etapas

4.9.4.1.1 Etapa de extracción. Se prepararon los reactivos requeridos para el análisis tales como:

✓ Cloruro de Potasio (KCl) 1N: se pesaron 37,3 gr de KCl R.A., los cuales se disolvieron en agua destilada y se llevaron a un volumen de 500ml.

✓ Hidróxido de sodio (NaOH) 2N: se pesaron 20,75 de NaOH y se disolvieron en agua destilada llevándose a un volumen de 250ml.

✓ Hidróxido de Sodio (NaOH) 0,2N: se midió con pipeta aforada 25 ml de la solución NAOH 2N, llevándola a un balón aforado de 250 ml y completando el volumen con agua destilada.

✓ Fenolftaleína al 1% en alcohol del 96%: se pesó 0,5 gr de fenolftaleína, luego se disolvió en 50 ml de alcohol etílico al 96%.

✓ Ácido Clorhídrico 01N: se tomaron 0,835ml de HCl 0,1N

✓ Fluoruro de Sodio (NaF) al 4%: Se pesaron 4 gr de NaF, disolviéndose en agua destilada y llevándolos a un volumen de 100ml en balón aforado.

Se Pesaron 10 gr de suelo seco y tamizado por 2 mm de las 4 repeticiones hechas de cada tratamiento, teniendo en cuenta que el diseño experimental fue determinado para 4 tratamientos con diferentes concentraciones de cal y travertino depositándolos en vasos desechables para hacer 2 combinaciones por cada tratamiento, luego se hizo el registro del código de identificación de la muestra.

Se agregaron 3 ml de la solución de KCl 1N a cada una de las combinaciones realizadas anteriormente.

Se agitaron por un periodo de 30 minutos cada una de las muestras.

Luego del periodo de agitación se dejó reposar la muestra por un periodo de 10 minutos.

Posteriormente en el equipo de filtración se instalaron los Erlenmeyer de 500 ml con su respectivo embudo de Buchner y papel de filtro de 9 cm de diámetro.

Se encendió la bomba de vacío para abrir paso y trasvasar la muestra cuantitativamente con la ayuda del frasco lavador que contiene 50 ml de la solución de KCl teniendo en cuenta que la muestra no puede sobrepasar un volumen aproximado 150 ml.

Se cerró el paso del vacío y se retiraron los Erlenmeyer disponiendo adecuadamente los residuos sólidos producidos para su eliminación.

4.9.4.2 Etapa de cuantificación. Se procedió a calcular por dos parámetros como:

A. Acidez intercambiable: se procedió a colocar el Erlenmeyer que contiene el extracto en la plancha agitadora junto con en el agitador recíproco, se agregó 3 gotas de solución de

Fenolftaleína para efectuar la titulación, se instaló la bureta de 25 ml que contiene la solución de NaOH 0,2N en el soporte universal para luego titular el contenido del Erlenmeyer hasta obtener un rosado pálido de la solución que se sostenga como mínimo 30 segundos; luego se anotó el volumen de titulación gastado en cada solución en la tabla de registro.

B. Diferenciación entre aluminio e hidrógeno intercambiables: se agregó 1 gota de HCl 0,1N para decolorar y luego 10 ml de NaF del 4 % a la solución de la muestra de suelo procedente de la titulación anterior. Se observó que el color rosa retornó debido a que el extracto de suelo contiene aluminio de cambio por lo que se procedió a titular nuevamente la solución con HCl 0,1N hasta el punto exacto en donde el color rosado desapareció, se agregó nuevamente 2 gotas de fenolftaleína y si reapareció el color rosa se debe realizar el mismo procedimiento hasta que el color rosa no retorne. Por último se procedió a anotar el volumen de ácido gastado y a depositar adecuadamente los residuos producidos para su eliminación.

Anexo a esto se agregaron 50 ml de agua destilada a cada tratamiento para luego hacer la toma de la siguiente lectura.

4.9.5 Cálculos. Para el cálculo del valor de la acidez, el aluminio y el hidrógeno intercambiable se utilizaron las siguientes expresiones matemáticas, conociendo del p_w de la muestra:

Acidez intercambiable

$$A_i \text{ meq/100 g de suelo: } \frac{(V_1 - VB_p) * N * (100 + p_w)}{p_m}$$

Donde; A_i = acidez intercambiable en me por 100 g de suelo; V_1 = ml de NaOH gastados en la titulación de la muestra; VB_p = mL de NaOH gastados en la titulación del blanco del

proceso; N= normalidad de NaOH; pw= porcentaje de humedad en el suelo seco a 105°C (factor de corrección por humedad); pm= peso muestra en g.

Aluminio Intercambiable

$$\text{Al meq/ 100 g de suelo: } \frac{V2 * N * (100 + pw)}{pm}$$

Donde; Al= aluminio intercambiable en meq por 100g de suelo; V2= mL de HCL gastados en la titulación de la solución; N= normalidad del HCL; pw= porcentaje de humedad en el suelo seco a 105°C (factor de corrección por humedad); pm= peso de muestra en g.

Hidrógeno intercambiable

$$\text{H meq/100 g de suelo} = \text{A1 meq/100g} - \text{Ai meq/100g}$$

Donde; H = Hidrógeno intercambiable en meq por 100 g de suelo.

5. Análisis y Discusión Resultados

5.1 Análisis inicial del suelo

En análisis se desarrolló en un entisol con alta pedregosidad y fragmentos de rocas areniscas en las que el cuarzo es el mineral predominante, igualmente el suelo presento un pH extremadamente ácido y un contenido de materia orgánica bajo, bajo contenido de azufre y de fosforo.

Tabla 6.

Análisis químico del suelo

	%							(Cmol/kg)							mg/kg				
pH	MO	Ca	Mg	K	Na	CIC	Al I'	P	Cu	Zn	Mn	Fe	B	S					
4,7	4,18	1.06	0,20	0,21	0,10	5,77	3,20	5,92	1,62	1,00	18,08	598,83	0,37	5.29					

Tabla 7.

Saturación de Bases

Saturación de Bases	%	Interpretación
Saturación de Calcio	18	Bajo
Saturación de Magnesio	3	Bajo
Saturación de Potasio	4	Alto
Saturación de Sodio	10	Normal
Saturación de Aluminio	56	Restringido

5.2 Análisis Físico del suelo

Este suelo presenta una baja densidad aparente ocasionada por los fragmentos rocosos que dan una alta pedregosidad por la presencia de areniscas que se meteorizan dándole más cantidad de arena al suelo.

Tabla 8.

Análisis físico del Suelo

Textura	% Limo	% Arcilla	% Arena	DA (g/cm ³)
Franco arcillo arenoso	13,28	24,16	62,56	0,6

5.3 Análisis de Cal y Travertino

Tabla 9.
Análisis fisicoquímicos de la Cal y el Travertino

Análisis	Parámetro	Matriz de la Muestra	%
Bases Solubles	Calcio (meq Ca ²⁺ /L)	Cal	72
		Travertino	1,6
	Magnesio (meq Mg ²⁺ /L)	Cal	0,293
		Travertino	0,315
	Sodio (meq Na ⁺ /L)	Cal	1,064
		Travertino	1,215
	Potasio (meq K ⁺ /L)	Cal	0,583
		Travertino	0,088
	Conductividad (ms/cm)	Cal	4,2
		Travertino	100,2
Calcio y Magnesio Solubles	Calcio (meq/L(Ca + Mg))	Cal	53,9
		Travertino	1,6
	Calcio (meq Ca/L)	Cal	37,4
		Travertino	0,7
	Magnesio (meq Mg/L)	Cal	16,5
		Travertino	0,9
Sulfatos Solubles	Sulfatos (SO ₄ ²⁻ meq/L)	Cal	0,32

		Travertino	0,16
Bicarbonatos, Carbonatos e Hidróxidos	Bicarbonatos (meq HCO_3^- /L)	Cal	0
		Travertino	6,68
	Carbonatos (meq CO_3^{2-} /L)	Cal	8,36
		Travertino	0
	Hidróxidos (meq OH^- /L)	Cal	79,37
		Travertino	0
	pH (Unidades de pH)	Cal	11,95
Nutrientes		Travertino	7,8
	Magnesio (% Mg)	Cal	0,02
		Travertino	0,03
	Sodio (% Na)	Cal	0,008
		Travertino	0,101
	Potasio (% K)	Cal	0,018
		Travertino	0,006
	Fósforo (% P)	Cal	0,095
		Travertino	0,044
	Azufre (% S)	Cal	0,03
		Travertino	0,21
	Silicio (% Si)	Cal	0,14
	Travertino	0,22	

5.4 pH en los tratamientos

Tabla 10.

Análisis de pH en los diferentes tratamientos CAL Y TRAVERTINO

Tratamiento	pH15d	pH30d	pH45d	pH60d	pH75d	pH90d	pH105d
T1	5,950d	6,425c	5,867d	6,082c	5,867ed	5,812c	5,832dc
T2	6,300c	6,725b	6,200c	6,292b	6,290cb	6,340b	6,380b
T3	6,625b	6,975ba	6,432b	6,480b	6,562b	6,747 ^a	6,795 ^a
T4	6,950 ^a	7,225 ^a	6,850 ^a	6,897 ^a	6,940 ^a	6,735 ^a	6,785 ^a
T5	5,575e	5,525f	5,535f	5,607f	5,567f	5,530c	5,537d
T6	5,600e	5,700ef	5,602ef	5,66fe	5,647ef	5,630c	5,650dc
T7	5,875d	5,800ed	5,782ed	5,832de	5,867ed	5,722c	5,742dc
T8	5,925d	6,042d	5,915d	5,972dc	6,032cd	5,862c	5,950c
CV	1,715	2,758	2,226	2,308	3,053	3,43	3,547

CV: coeficiente de variación, promedios en columnas seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0,005$), pruebas rangos múltiples de Duncan.

En cuanto al pH en la tabla N° 11, se observa claramente que todos los tratamientos incrementan la alcalinidad; sin embargo la cal presenta una reacción aumentando el pH más rápidamente en comparación con la cal de travertino.

Según Spencer et al., 2003, tan solo el cambiar la dosis en 1 mg/L de cal, puede traducirse en un cambio de 100 veces en la concentración de iones de hidrógeno llegando hasta un pH incluso de 14.0 unidades. Aun así cabe hacer la salvedad de que con este alcalinizante esto no necesariamente garantiza que se obtengan valores altos de pH (Esvelt, 2010).

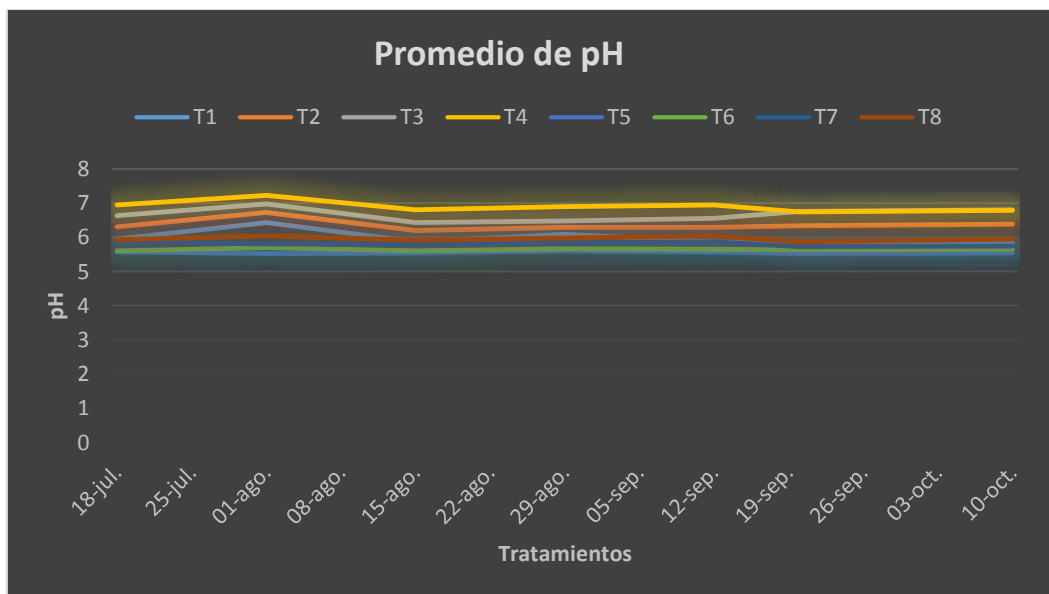


Figura 4. Promedio de pH

El pH evidencio diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para todas las mediciones en el tiempo, a los 15 días todos tratamientos son significativamente diferentes encontrando que los tratamientos 3 Y 4 en donde se aplica cal presentaron mayor incremento de pH mostrando diferencia con todos los otros y los tratamiento 5 Y 6 en donde se aplica travertino evidenciaron los menores valores de pH posiblemente porque la cal está reaccionando a grandes cantidades con el suelo. El mayor valor de pH de los tratamientos se dio a los 30 días, luego presentaron un descenso llegando a una estabilización después de 75 días. El tratamiento 3 presenta un incremento de pH a partir de los 60 días con relación a los otros tratamientos.

Tabla 11.

Acidez, Aluminio e Hidrogeno Intercambiable en los Tratamientos

TRA	Aimeq30d	Almeq30d	Hmeq30d	Aimeq60d	Almeq60d	Hmeq60d	Aimeq90d	Almeq90d	Hmeq90d
PT1	3,62376c	20,3513b	16,7275c	1,7472 ^a	1,4833 ^a	_0,2588bc	0,4530b	0,9706 ^a	0,5176 ^a
PT2	3,10608d	17,0511c	13,9450d	0,7765cb	0,9059b	0,1294ba	0,3236b	0,1941cbd	_0,1294cbd
PT3	4,33557b	34,1022 ^a	29,7666 ^a	0,5824cd	0,3235d	_0,2588bc	0,3236b	0,2588b	_0,0647b

PT4	6,53571 ^a	33,8433 ^a	27,3076 ^b	0,6471 ^{cd}	0,4529 ^{dc}	-0,1941 ^{bc}	0,3236 ^b	0,1294 ^{ed}	-0,1941 ^{cbd}
PT5	1,74717 ^f	17,5688 ^c	15,8216 ^c	0,9707 ^b	0,9059 ^b	-0,0647 ^{bc}	0,9707 ^a	0,2264 ^{cb}	-0,7441 ^f
PT6	2,20014 ^e	12,2949 ^d	10,0948 ^e	0,7765 ^{cb}	0,4529 ^{dc}	-0,3236 ^c	0,7765 ^a	0,1941 ^{cbd}	-0,5823 ^e
PT7	3,36492 ^{dc}	6,3416 ^f	2,9767 ^g	0,4530 ^d	0,9059 ^b	0,4530 ^a	0,4530 ^b	0,0970 ^e	-0,3559 ^d
PT8	4,01202 ^b	9,5124 ^e	5,5004 ^f	0,4530 ^d	0,6147 ^c	0,1618 ^{ba}	0,4530 ^b	0,1617 ^{ced}	-0,2912 ^{cd}
CV	6,5758	5,0634	6,453	24,4022	14,9222	-581,7099	28,1909	21,3936	-46,5994

La tabla 12 confirma que el encalado controla los problemas de acidez, midiendo el pH y la concentración de la acidez e aluminio intercambiable con el efecto de las dosis de los tratamientos y que se observó diferencias altamente significativas para las dosis evaluadas. El comportamiento de la ($H^+ + Al^{*3}$) del suelo en respuesta a la aplicación de las dosis de los tratamientos se observa en la figura 5 que se redujo con las enmiendas que contenían Cal a medida que se incrementó la dosis contrario a lo que sucede con las enmiendas que contenían travertino los cuales la acidez intercambiable se estabilizó. Este comportamiento fue similar para las enmiendas de cal con sus dosificaciones y las enmiendas de travertino con sus dosificaciones y ha sido documentado en suelos tropicales por Osorno, 2012.

La dosis de cal que eliminó un alto porcentaje de la acidez intercambiable fue (6,67 g/1kg) contrario a la dosis de travertino que fue la de (1,67g/1kg). Se sabe que el Al^{3+} es el principal factor en el desarrollo de la acidez por lo que su toxicidad es la que afecta la planta contrario al H^+ liberado en el proceso de hidrólisis que afecta en el valor del pH Espinosa y Molina (1999)

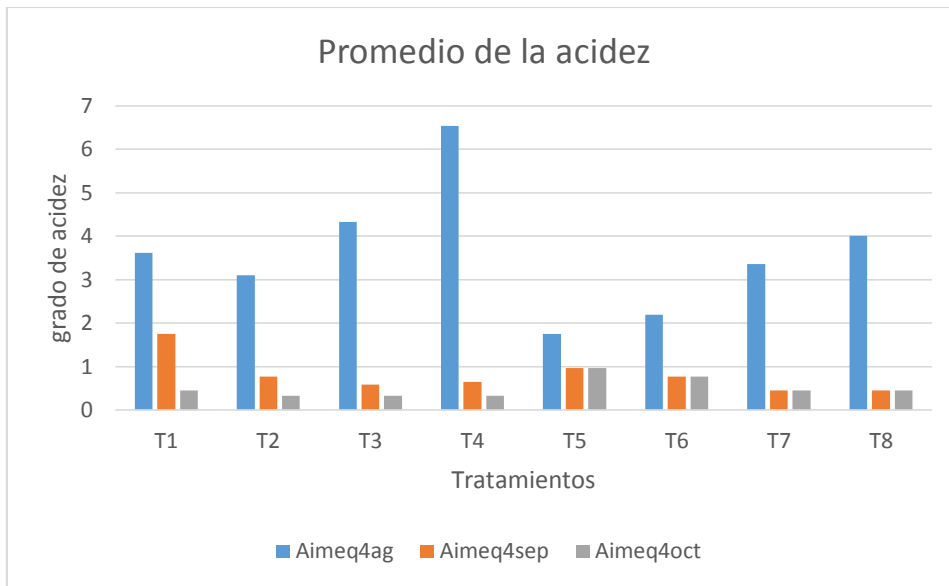


Figura 5. Promedio de la Acidez.

La grafica N°6 representa el comportamiento de las dosis de enmienda del aluminio (Al³⁺) en cada valor de la muestra el cual fue muy similar en donde muestra una alta reducción en el contenido de Al³⁺ para todas dosis tanto de Cal como Travertino arrojando que en la enmienda 3 con 5,00 g/1kg de Cal tiende a desaparecer.

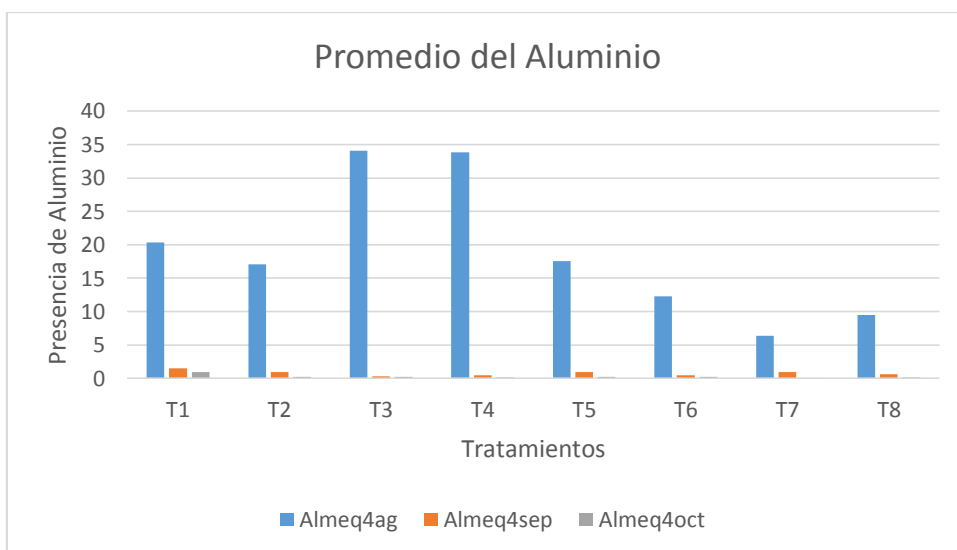


Figura 6. Promedio de Aluminio.

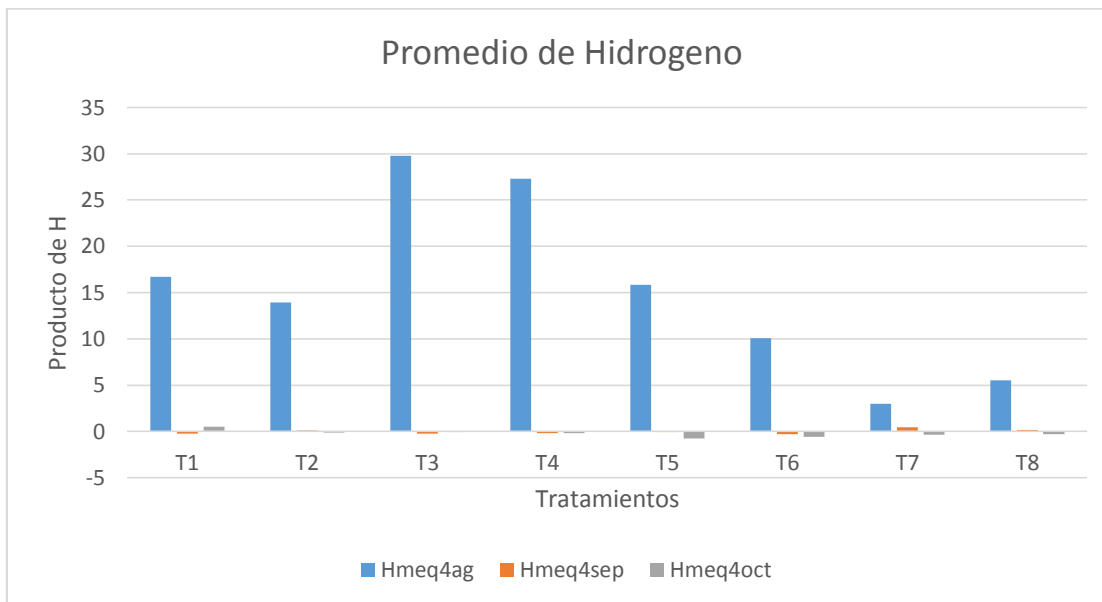


Figura 7. Promedio de Hidrogeno.

Teniendo en cuenta los resultados de la revisión bibliográfica pudimos identificar los alcalinizantes más empleados en el proceso de ajuste del pH, siendo éstos: la Cal Hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el Carbonato de Sodio (Na_2CO_3), el Carbonato de Calcio (CaCO_3); además las características de los alcalinizantes son semejantes en cuanto a contenido activo de elementos, usos, almacenamiento y equipos para la dosificación. Cabe mencionar que los datos que se presentan en este documento son para alcalinizantes de tipo industrial.

6. Conclusiones

La información recopilada en el presente trabajo de investigación permite presentar las siguientes conclusiones:

Los resultados del análisis del suelo ácido de clase entisol para evaluar el efecto de los cuatro tratamientos de las dosis requeridas de cal y travertino con las variables de del pH, acidez intercambiable, aluminio intercambiable e Hidrogeno intercambiable demostraron similitud en su comportamiento ya que el pH se incrementó y los contenidos de acidez, aluminio e hidrogeno intercambiable se redujeron, dejando claro que las dosis altas de Al^{3+} (5,00 y 6,67 g/kg) para la cal fueron las dosis necesarias para precipitar la mayor parte del aluminio dando como resultado un mejoramiento en el ambiente radicular de la planta.

Las muestras de suelo que contenían cal mostraron un incremento considerable de pH con relación a las muestras que contenían travertino en los ocho tratamientos analizados por lo que no se recomienda utilizar el travertino por su eficiencia con respecto a la Cal es muy baja.

El Al^{3+} el principal factor en el desarrollo de la acidez por lo que su toxicidad es la que afecta la planta contrario al H^+ liberado en el proceso de hidrolisis quien afecta en el valor del pH.

Referencias Bibliográficas



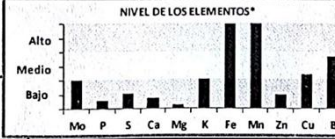
- Alcarde, J. (1992). Correctivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, Brasil: ANDA.
- Alvarez y Cayssials (1983). Interpretación agronómica de la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay:MAP.
- Montesdeoca, F y Calva, C. (2016) Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo ácido de Loreto, Orellana. (Tesis de pregrado).Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Bernier, R. y Alfaro, M. (2006). Acidez de los suelos y efectos del encalado. Osorno, Chile: INIA
- Barceló, J. y Poschenrieder, C. (1992). Respuesta de las plantas a la contaminación por metales pesados. Barcelona, España: CAICYTPB.
- Cabrales, E. y Campo, R. (2007). Dinámica nutrimental y caracterización microbiológica de los suelos sulfatados ácidos del valle del Sinú (tesis de pregrado). *Universidad de Córdoba*, Montería, Colombia.
- Castellanos, J. (2014). Acidez del suelo y su corrección. Hojas técnicas de Fertilab, México: FERTILAB.
- Castro, F. (2007) Mejoramiento químico integral de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. Villavicencio, Colombia: BAC.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2016). Rocas y minerales industriales: panorama actual del mármol y travertino en el Perú., Perú: INGEMMET, recuperado de <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/688>.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1987).Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San Jose, Costa Rica: IICA.
- Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA, vol 2, 51- 57.Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>

- Bernal, A. (2014.) Evaluación de materiales encalantes y orgánicos sobre las bases intercambiables de un suelo sulfatado ácido en invernadero. *Temas Agrarios*, vol 19, 1722. Recuperado de <https://doi.org/10.21897/rta.v19i1.722>.
- Gandullo, J. (1998). Valencia textural de las especies forestales. *Edafología*, vol 5, 41-46.
- Howells, G. & Dalziel, T. (1992) *Restoring Acid Waters: Loch Fleet*. London, England: ELSEVIER APPLIED SCIENCE.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006) *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Bogotá, Colombia: IGAC. Recuperado de <https://www.igac.gov.co/>
- Inglés, M. (2015). Las canteras históricas como recurso turístico. *Canteras de arenisca de Cartagena* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.
- Espinosa, J. y Molina E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Quito, Ecuador: IPNI.
- Osorno, H. (2012). *Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia* (tesis de pregrado). Universidad nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo*. Medellín, Colombia: SINAB.
- Ramírez, C. (1997). *Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los Suelos*. Bogotá, Colombia: FENALCE.
- Skeffington, R. & Blank, L. (1989). Causas de la disminución del abeto tipo 1 en Europa. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, vol 62, 179- 222. Recuperado de <https://doi.org/10.1093/forestry/62.3.179-a>.
- Martínez, G. (2005). Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. Córdoba, Colombia: INTERCIENCIA.

Apéndices

Apéndice A. Laboratorio de química de suelos, aguas y plantas de CORPOICA

INFORME N° 3381-S17 (26481) Diego Quintero 2017-10-31

				REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS UNA MUESTRA VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	
ISO/IEC 17025:2005 13-LAB-031		LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS		# DE SOLICITUD 3381	CODIGO DE LABORATORIO S17-26481
1. Información del cliente					
Nombre y Apellido:	DIEGO QUINTERO				
Cédula o NIT	1096956648				
Dirección:	CLL 15 # 10 - 85				
Dpto:	SANTANDER				
Municipio:	SAN JOSÉ DE MIRANDA				
Tel. fijo/Celular:	3134011719				
Tipo de análisis:	Fertilidad completo,				
2. Información de la muestra					
Identificación:	006308	Altura	2222		
Matriz	SUELO	Cultivo	PASTO		
Vereda:	SAGAMAL	Estado:	POR ESTABLECER		
Finca:	LA GUAYACANA	Topografía del terreno	PENDIENTE MODERADA		
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA con acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de acreditación 13-LAB-031, bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. El laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC 150/IEC 17025 en los ensayos de: pH (VC_R_004 versión 2 de 30-09-2015), fósforo disponible Bray II (NTC 5350:2005), conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008), cationes intercambiables en suelo Olsen, magnesio, potasio y sodio disponibles (NTC 5349:2008), micro nutrientes en suelo por Olsen modificada (NTC 5526:2007)*					
Fecha de recepción:	2017-10-18		Jamer Ricardo Jiménez. (7882)		
Fecha(s) de análisis:	2017-10-23 / 2017-10-31		Lider Unidad de Laboratorio de Suelos		
Fecha de reporte:	2017-10-31				
DETERMINACION ANALITICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR*	INTERPRETACIÓN*	
pH	Unidades de pH	VC_R_004 versión 2	4,71	QUEERFA EXTREMADAMENTE ACIDO	
Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596:2008	0,14	NO SALINO	
Materia orgánica (MO)	g/100 g	Walkey & Black	4,18	BAJO	
Fósforo disponible (P) Bray II	mg/kg	NTC 5350:2005	5,92	BAJO	
Azufre disponible (S)	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	5,29	BAJO	
Acidez Intercambiable (Al+H)	cmol _c /kg	KCl	4,20		
Aluminio Intercambiable (Al)	cmol _c /kg	KCl	3,20	RESTRICTIVO	
Calcio Intercambiable (Ca)	cmol _c /kg	NTC 5349:2008	1,06	BAJO	
Magnesio Intercambiable (Mg)	cmol _c /kg	NTC 5349:2008	0,20	BAJO	
Potasio Intercambiable (K)	cmol _c /kg	NTC 5349:2008	0,21	MEDIO	
Sodio Intercambiable (Na)	cmol _c /kg	NTC 5349:2008	<0,10	BAJO	
Capacidad de intercambio catiónico (CICE)	cmol _c /kg	Suma de cationes	5,77	BAJO	
Hierro disponible (Fe) Olsen	mg/kg	NTC 5526:2007	598,83	ALTO	
Manganeso disponible (Mn) Olsen	mg/kg	NTC 5526:2007	18,08	ALTO	
Zinc disponible (Zn) Olsen	mg/kg	NTC 5526:2007	<1,00	BAJO	
Cobre disponible (Cu) Olsen	mg/kg	NTC 5526:2007	1,62	MEDIO	
Boro disponible (B)	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio	0,37	MEDIO	
Saturación de Calcio	18%	Bajo			
Saturación de Magnesio	3%	Bajo			
Saturación de Potasio	4%	Alto			
Saturación de Sodio	10%	Normal			
Saturación de Aluminio	56%	Restringido			
Relacion Ca/Mg	5,4				
Relacion (Ca+Mg)/K	5,9				
Relacion Mg/K	0,9				
Relacion Ca/B	570				
OBSERVACIONES: * Interpretación basada en: K. A. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia N 25.					
Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia. Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma. Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA. Para peticiones, quejas, solicitudes de información comuníquese al correo electrónico atencioncliente@corpoca.org.co o a la línea telefónica 018000121515					
CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3 CENTRO DE INVESTIGACION TIBAITATA KILOMETRO 14 VIA MOSQUERA (CUNDINAMARCA) TELEFONOS: 4227300, extensión 1414 E-MAIL: ypaexx@corpoca.org.co					
				VC-F-227	Version: 2
				Fecha de aprobación: 04-09-2017	

INFORME N° 3381-S17 (26481) Diego Quintero 2017-10-31



RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN

USUARIO : Diego Quintero
 IDENTIFICACION: 004308
 NÚMERO DE LABORATORIO: S17-26481
 FECHA: 31-10-2017

DEPARTAMENTO: Santander
 MUNICIPIO: San José de Miranda
 VEREDA: Sagamal
 FINCA: La Guayacana
 CULTIVO: Pasto
 EDAD: Por Establecer

Quien realizó la recomendación

LORENA B
 Lorena Bohórquez
 Ingeniera agrónoma
 Contacto: 4227300
 extensión 1414-1372.

DIAGNÓSTICO DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DE SUELO

Suelo de reacción fuerte a Extremadamente Ácida, asociado a una Alta saturación de Aluminio de cambio por lo cual se recomienda la aplicación de enmiendas calcáreas para disminuir la acidez del suelo. Disponibilidad baja de Nitrógeno considerando el porcentaje bajo de materia orgánica, se recomienda su aplicación. Para el Fósforo y el Azufre se recomienda su aplicación debido a sus bajos contenidos. Para las bases de cambio Calcio, Magnesio y Potasio se recomienda su aplicación debido a sus bajos a moderados niveles edáficos. En cuanto a los micronutrientes es recomendable la aplicación de Zinc y Boro como consecuencia de sus bajas a moderadas concentraciones nativas. Para el Hierro y Manganeseo no se recomienda su aplicación actualmente.

Anuncio importante

Recuerde consultar el asesor técnico de su zona para ajustar el plan de fertilización de acuerdo a las particularidades de su cultivo

CANTIDAD DE NUTRIENTES APORTADOS EN EL PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA PASTOS SUPONIENDO ALREDEDOR DE 6 PASTOREOS O CORTES AL AÑO

NITRÓGENO	FÓSFORO	POTASIO	CALCIO	MAGNESIO	AZUFRE	HIERRO	MANGANESO	ZINC	BORO
Kg/ha/año									
138	58	45	29	16	36	0.0	0.0	2.8	0.8

DOSIS DE ENMIENDA

Se recomienda la aplicación de la siguiente fuente de enmienda una vez al año en época diferente a la fertilización:

- Cal Dolomita.....1800 kg/ha

DOSIS DE FERTILIZANTE Y EPOCA DE APLICACIÓN

Aplicar las siguientes fuentes, dos veces al año

- Bórax..... 4 kg/ha
- Sulfato de Zinc..... 5 kg/ha
- DAP..... 63 kg/ha
- Yeso Agrícola..... 50 kg/ha

Centro de Investigación Tibaitatá

Km 14 vía Mosquera (Cundinamarca)

Tel: 4227300 extensión 1414-1372

Aplicar las siguientes fuentes fertilizantes 5 a 10 días después de emergencia de las pasturas, después aplicar 5 a 10 días después de cada pastoreo. (6 pastoreos en el año)

- Urea..... 42 kg/ha
- Sulfato de Magnesio..... 17 kg/ha
- KCl..... 13 kg/ha

FIN DEL INFORME

Apéndice B. Informe de resultados laboratorio químico de consultas Industriales matriz de la muestra Cal y Eucalipto

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 07	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2018/07/25	
		Página 1 de 5	



“Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1582 de 2018, en los parámetros Alcalinidad, Cloruros, Dureza, Nitritos, Nitratos, DBO₅, DQO, SST, SAAM, grasas y aceites, hidrocarburos en aguas, metales totales y disueltos en aguas, pH y metales totales en suelos, TCLP en residuos peligrosos y toma de muestras puntuales y compuestas”

“Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 1615 de 2015, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano”

Informe de resultados No.	I-18-612	Fecha de emisión:	Octubre 23 de 2018
Cliente:	GIRAUDYS TATIANA CASTRO DUENEZ		
Dirección del cliente:	Carrera 4 No. 3-36		
Solicitud de servicio No.	18-504	No. de muestras:	02
Fecha de recepción de las muestras:	Octubre 09 de 2018		
Muestras recibidas por:	Amparo López G.		
Fecha de análisis:	Octubre 09 de 2018 – Octubre 17 de 2018		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	18-504-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	CAL		
Matriz de la muestra:	Cal		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Municipio de Málaga / CANTERAS		
Fecha del muestreo:	Octubre 08 de 2018		

BASES SOLUBLES: Se realiza teniendo en cuenta la conductividad y el pH.

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Calcio (meq Ca ²⁺ /L)	72,00	Absorción Atómica
Magnesio (meq Mg ²⁺ /L)	0,293	Absorción Atómica
Sodio (meq Na ⁺ /L)	1,064	Absorción Atómica

Potasio (meq K ⁺ /L)	0,583	Absorción Atómica
Conductividad (ms/cm)	4,20	Conductivimétrico

CALCIO Y MAGNESIO SOLUBLES

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Calcio [meq/L (Ca+ Mg)]	53,9	Volumétrico
Calcio (meq Ca/L)	37,4	Volumétrico
Magnesio (meq Mg/L)	16,5	Cálculo

Informe de resultados No.

18-504-01

SULFATOS SOLUBLES

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Sulfatos (SO ₄ ²⁻ meq/L)	0,32	Espectrofotométrico

BICARBONATOS, CARBONATOS E HIDROXIDOS

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Bicarbonatos (meq HCO ₃ ⁻ /L)	0	Volumétrico
Carbonatos (meq CO ₃ ⁻² /L)	8,36	Volumétrico
Hidróxidos (meq OH ⁻ /L)	79,37	Volumétrico

pH (Unidades de pH)	11,95	Potenciométrico
---------------------	-------	-----------------

PORCENTAJES

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Magnesio (% Mg)	0,02	Absorción Atómica
Sodio (% Na)	0,008	Absorción Atómica
Potasio (% K)	0,018	Absorción Atómica
Fósforo (% P)	0,095	Espectrofotométrico
Azufre (% S)	0,03	Espectrofotométrico
Silicio (% Si)	0,14	Espectrofotométrico

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	18-504-02	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	TRAVERTINO		
Matriz de la muestra:	Travertino		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Municipio de Málaga / CANTERAS		
Fecha del muestreo:	Octubre 08 de 2018		

BASES SOLUBLES: Se realiza teniendo en cuenta la conductividad y el pH.

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Calcio (meq Ca ²⁺ /L)	10,09	Absorción Atómica
Magnesio (meq Mg ²⁺ /L)	0,315	Absorción Atómica
Sodio (meq Na ⁺ /L)	1,215	Absorción Atómica
Potasio (meq K ⁺ /L)	0,088	Absorción Atómica
Conductividad (ms/cm)	100,2	Conductivimétrico

CALCIO Y MAGNESIO SOLUBLES

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Calcio [meq/L (Ca+ Mg)]	1,60	Volumétrico
Calcio (meq Ca/L)	0,70	Volumétrico
Magnesio (meq Mg/L)	0,90	Cálculo

SULFATOS SOLUBLES

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Sulfatos (SO ₄ ²⁻ meq/L)	0,16	Espectrofotométrico

BICARBONATOS, CARBONATOS E HIDROXIDOS

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Bicarbonatos (meq HCO ₃ ⁻ /L)	6,68	Volumétrico
Carbonatos (meq CO ₃ ⁻² /L)	0	Volumétrico
Hidróxidos (meq OH ⁻ /L)	0	Volumétrico

pH (Unidades de pH)	7,8	Potenciométrico
---------------------	-----	-----------------

PORCENTAJES

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Magnesio (% Mg)	0,030	Absorción Atómica
Sodio (% Na)	0,101	Absorción Atómica
Potasio (% K)	0,006	Absorción Atómica
Fósforo (% P)	0,044	Espectrofotométrico
Azufre (% S)	0,210	Espectrofotométrico
Silicio (% Si)	0,220	Espectrofotométrico

Observaciones: *Ninguna*

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Fiallo

Directora del Laboratorio

Química. M.Sc Química UIS

MP PQ 1144

Elaboró: Amparo López G.

Apéndice C. Análisis de laboratorio para toma de densidad aparente a la muestra de suelo



Apéndice D. Análisis de laboratorio para determinar textura a la muestra de suelo



Apéndice E. Montaje del análisis para calcular acidez, aluminio e hidrogeno intercambiable.

Apéndice F. Análisis de titulación para las muestras con contenido de Cal y Travertino



