

Diagnóstico del nivel de acidez y estimación de las necesidades de enmienda agrícola en suelos del municipio Pamplona, Norte de Santander mediante pruebas de incubación en laboratorio.

Claudia Inés Aragón Mendoza

Cristian Andrés Vivas Valencia

Proyecto de trabajo de grado modalidad investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Programa Ingeniería Agronómica

Noviembre, 2021

Diagnóstico del nivel de acidez y estimación de las necesidades de enmienda agrícola en suelos del municipio Pamplona, Norte de Santander mediante pruebas de incubación en laboratorio.

Claudia Inés Aragón Mendoza

C.C.: 1.116.862.507

Cristian Andrés Vivas Valencia

C.C.: 1.007.012.190

Proyecto de trabajo de grado modalidad Investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Directora

Dra. Ana Francisca González Pedraza

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Programa Ingeniería Agronómica

Noviembre, 2021

Dedicatoria

Yo Cristian Andrés Vivas Valencia, quiero dedicar mi tesis con todo amor y cariño a mi mamá Deifa Yolanda Valencia por su sacrificio y esfuerzo, por darme la fuerza para poder seguir adelante en mi carrera, por ayudarme a buscar soluciones en donde veía problemas y por creer en mí cuando sentía que me ahogaba en este libro llamado vida.

A mi abuela Berta Tulia Méndez por demostrarme amor y fuerzas en esos días que no podía; también quiero dedicarle mi tesis a mi compañera de trabajo de grado Claudia Inés Aragón Mendoza y su hija Joleen Betancourt, que a pesar de todos los problemas que tuvimos siempre me mostró una sonrisa e impulso a seguir adelante, aunque hemos pasado por tiempos difíciles siempre me brindó su comprensión, paciencia y amor.

Por otro lado, también le dedico mi tesis a mi hermana Alicia por su acompañamiento incondicional en todo mi tiempo universitario y por darme la oportunidad de conocer a mi primer sobrino Thiago que adoro con mi alma.

Dedicatoria

Yo, Claudia Inés Aragón Mendoza, con todo mi amor, respeto y cariño, dedico mi tesis a mi querida madre, Josefina Mendoza, por acompañarme hasta su último suspiro. A mi amado esposo, Mauricio Betancourt Ruiz, por su sacrificio y esfuerzo, para darme superación profesional, creyendo en mis capacidades, brindando comprensión y mucho amor. A mi entrañable hija Joleen Samar Betancourt Aragón, fuente de mi motivación, inspiración y razón de mi existir.

A mi madrina Blanca Jiménez, quien siempre me alentó para no decaer y salir adelante. A mi amiga y comadre Alicia Vivas, que sin esperar nada a cambio, compartió sus conocimientos, alegrías y tristezas. A mi amigo, compañero de tesis, Cristian Vivas, por su dedicación y empeño en nuestro trabajo, por tantos días de felicidad y tristezas, por hacerme llorar con verdades y no reír con mentiras y a todos, los que de una u otra forma estuvieron ahí haciendo parte de este sueño hecho realidad. A todos gracias...

Agradecimientos

Yo, Cristian Andrés Vivas Valencia en primer lugar deseo expresar mi agradecimiento a Dios, por mantenerme con salud y vida, a la Dra. Ana Francisca González Pedraza, por la dedicación y apoyo que nos ha brindado en el transcurso de nuestro proyecto, por la confianza ofrecida durante todos estos tiempos.

Así mismo, agradezco a mi compañera de trabajo, Claudia Inés Aragón Mendoza por su apoyo personal y humano, por compartir estos tiempos difíciles conmigo.

Gracias a mi familia, a mi mamá, hermanos y sobrino, por darme fuerzas y recuerdos felices que me inspiraron a seguir adelante.

Agradezco a mis amigos de la carrera, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

De igual modo un agradecimiento al profesor Edgar Guerra, por ayudarme en los tiempos difíciles que pase en el transcurso de mi carrera, e igual mente para don Óscar por ser nuestro acompañante del SISVEB y ser un gran tutor del manejo de las herramientas.

A todos muchas gracias.

Agradecimientos

Yo, Claudia Inés Aragón Mendoza, agradezco primeramente a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje, fortalezas y sobre todo felicidad.

También agradecerle a la Dra. Ana Francisca González Pedraza, por creer en nosotros y habernos brindado la oportunidad de desarrollar nuestra tesis profesional, y por todo y facilidades que nos fueron otorgadas en el transcurso de nuestra practica en laboratorio. Por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

Agradezco a mi madre, Josefina Mendoza por darme la vida y permanecer a mi lado mientras se le fue posible, a mi amado esposo mauricio Betancourt, que nunca a decaído en los momentos duros de mi carrera, gracias a él puedo lograr este sueño deseado, a mi hija motor de mi lucha , A mi compañero Andrés vivas por su desempeño con nuestro trabajo y unión, y a todos los compañeros que se encontraron a mi lado durante este transcurso de mi vida profesional , a aquellos docentes por transmitirme conocimiento profesional en el momento que compartieron conmigo sus capacidades.

A todos muchas gracias...

Tabla de contenido

Dedicatoria	3
Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Agradecimientos	6
Índice de tablas	10
Índice de figuras	11
Índice de anexos	12
Resumen	13
Abstract.....	15
Introducción.....	17
Planteamiento del problema	19
Justificación	21
Delimitación	22
Objetivos.....	23
Objetivo General.....	23
Objetivos específicos	23
Marco Teórico	24
Antecedentes.....	24
Internacional	24
Nacionales	25
Marco contextual	27
Bases Conceptuales	28
pH del suelo	28
Reacción del suelo	28
Suelos ácidos	28

Origen de la acidez del suelo.....	28
Aluminio intercambiable	29
Efecto de la acidez sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo.....	29
Toxicidad del aluminio intercambiable sobre los cultivos	29
Encalado de suelos ácidos	29
Efecto del encalado en los suelos	30
Tipos de enmiendas	30
Marco legal.....	31
Metodología.....	32
Tipo de investigación	32
Diseño experimental.....	32
Población	32
Muestra.....	32
Procesamiento de las muestras de suelo y diseño de los tratamientos	33
Características de la Cal Agrícola empleada	34
Características de la enmienda Abimgra	34
Proceso de incubación en laboratorio.....	35
Análisis físicos y químicos de suelos	36
Textura.....	36
Densidad aparente.....	37

Porcentaje de humedad del suelo.....	38
pH de los suelos	38
Conductividad eléctrica	39
Acidez y aluminio intercambiable	39
Porcentaje de materia orgánica.....	39
Análisis estadístico	41
Resultados y discusión	42
Propiedades químicas y físicas y nivel de acidez y aluminio intercambiable en los suelos	42
Efecto de las diferentes dosis de enmiendas agrícolas sobre el aluminio intercambiable en los suelos	45
Cambios en el pH y la conductividad eléctrica de los suelos con el tiempo de incubación	48
Conclusiones.....	52
Recomendaciones	53
Bibliografía.....	54
Anexos	60

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades físicas de los suelos.	42
Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos.	43
Tabla 3. Efecto de las enmiendas sobre el pH y la conductividad eléctrica de los suelos. ...	49

Índice de figuras

Figura 1.Ubicación geográfica de Pamplona, Norte de Santander.....	27
Figura 2.Cambios en la concentración de aluminio intercambiable en 15 días de incubación de los suelos.....	45

Índice de anexos

Anexo 1.Toma de muestras de suelos.	60
Anexo 2. suelo cernido en malla de 2 mm	60
Anexo 3.suelos en laboratorio	61
Anexo 4. Diseño experimental.	61
Anexo 5. características de enmiendas.	62
Anexo 6. medicion de pH y CE.....	62
Anexo 7. titulación con hidróxido de sodio.....	63
Anexo 8. triangulo textural de suelos.	63
Anexo 9. medición de Da por método del cilindro.....	64
Anexo 10. preparación del suelo.	64
Anexo 11. Medición de T° y lectura del hidrómetro.	65
Anexo 12. proceso para medir Da.Densidad aparente.....	65
Anexo 13. medición del % de humedad en el suelo.....	66
Anexo 14. proceso para medir pH y CE en suelos.	66
Anexo 15. máquina de medición de pH y CE.	67
Anexo 16. proceso para la medición de acidez y Al ⁺³	67
Anexo 17. medición del % de materia orgánica.....	68

Resumen

La acidez del suelo y la toxicidad del aluminio se consideran las condiciones más limitantes que afectan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos. Los suelos ácidos en Colombia ocupan el 85 % de la superficie aproximadamente 96 millones de hectáreas. Una buena parte de éstos se encuentran en zonas constituidas por materiales parentales ácidos, en climas lluviosos y relieve ondulado como en la región Andina, Orinoquia y Amazonia. El municipio de Pamplona se encuentra ubicado sobre la Cordillera Oriental de los Andes, con características de altas precipitaciones y abundante vegetación que favorecen el desarrollo de suelos ácidos. En tal sentido, en este estudio se evaluó el nivel de acidez y se determinaron los requerimientos de enmienda agrícola en suelos del municipio Pamplona, Norte de Santander mediante uso de pruebas de incubación en laboratorio. Para ello se realizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos correspondieron a: T0 = Control o testigo (0 dosis de CaCO_3 sin encalar); T1: 100 % de CaCO_3 de la dosis calculada (0,15 g de $\text{CaCO}_3/200$ g suelo); T2: 50 % de CaCO_3 de la dosis calculada (0,075g de $\text{CaCO}_3/200$ g suelo); T3: 50 % de la dosis calculada distribuida en una proporción 50% CaCO_3 + 50% gallinaza, Abimgra (0,075g de $\text{CaCO}_3/200$ g suelo y 0,075g de Abimgra/200 g suelo). Los suelos fueron incubados bajo condiciones de laboratorio por un período de 15 días. Se midió el pH, la conductividad eléctrica y el aluminio intercambiable antes de incubar los suelos con los diferentes tratamientos y a los 15 días de incubación. Adicionalmente se determinó la textura de los suelos, el porcentaje de humedad gravimétrica, la densidad aparente, la materia orgánica y la conductividad eléctrica. Se encontró que los suelos presentaron una clase textural franco arcilloso con un predominio importante del porcentaje de arcilla, la densidad aparente fue

baja en comparación con los valores de referencia para suelos de clase textural franco arcilloso, el porcentaje de materia orgánica fue bajo a suficiente. El pH de los suelos fue moderadamente ácido (5,29) y la conductividad eléctrica fue de 14,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El aluminio intercambiable (Al^{+3}) fue de $2,0 \pm 0,75$ meq/100 g un mínimo indicando un nivel medio el cual es considerado moderadamente tóxico para algunos cultivos. La aplicación de las diferentes dosis de enmiendas causó una disminución de la concentración del Al^{+3} en todos los tratamientos con excepción del control (T0). Sin embargo, solamente se encontró diferencias significativas en T1 (uso del 100 % de cal agrícola) sobre la disminución del Al^{+3} . De igual forma, el pH de los suelos aumentó al final de los 15 días de incubación de los suelos, siendo estadísticamente diferente en el T1 donde se usó el 100 % de cal agrícola recomendada según el nivel de aluminio intercambiable. Los valores de Al^{+3} bajaron de moderadamente tóxicos a ligeramente tóxicos ($<1,8$ meq/100 g de suelo). La conductividad eléctrica fue baja, pero aumentó al final del período de incubación. Se concluye que el mejor tratamiento fue T1 en el que se usó el 100 % de la cal agrícola. El período de incubación de 15 días no es suficiente para alcanzar la disminución del Al^{+3} a niveles menos tóxicos y más seguros para los cultivos. Se recomienda evaluar un mayor tiempo de incubación y probar diferentes clases y mezclas de enmiendas agrícolas.

Palabras clave: suelos ácidos, pH, aluminio intercambiable, acidez.

Abstract

Soil acidity and aluminum toxicity are considered the most limiting conditions affecting crop growth and yield. Acidic soils in Colombia occupy 85% of the surface approximately 96 million hectares. A good part of these are found in areas constituted by acidic parent materials, in rainy climates and undulating relief such as in the Andean region, Orinoquia and Amazonia. The municipality of Pamplona is located on the Eastern Cordillera of the Andes, with characteristics of high rainfall and abundant vegetation that favor the development of acidic soils. In this sense, in this study the acidity level was evaluated and the agricultural amendment requirements were determined in soils of the Pamplona municipality, Norte de Santander through laboratory incubation tests. For this, a completely randomized experimental design with four treatments and five repetitions was carried out. The treatments corresponded to: T0 = Control or control (0 dose of CaCO_3 without liming); T1: 100% CaCO_3 of the calculated dose (0.15 g of CaCO_3 / 200 g of soil); T2: 50% CaCO_3 of the calculated dose (0.075g CaCO_3 / 200g soil); T3: 50% of the calculated dose distributed in a proportion of 50% CaCO_3 + 50% chicken manure, Abimgra (0.075g of CaCO_3 / 200g soil and 0.075g of Abimgra / 200g soil). The soils were incubated under laboratory conditions for a period of 15 days. The pH, electrical conductivity and exchangeable aluminum were measured before incubating the soils with the different treatments and after 15 days of incubation. Additionally, the texture of the soils, the percentage of gravimetric humidity, the apparent density, the organic matter and the electrical conductivity were determined. It was found that the soils presented a clay loam textural class with an important predominance of the percentage of clay, the apparent density was low compared to the reference values for soils of the clay loam textural class,

the percentage of organic matter was low to sufficient. Soil pH was moderately acidic (5.29) and electrical conductivity was 14.39 $\mu\text{S} / \text{cm}$. The exchangeable aluminum (Al^{+3}) was $2.0 \pm 0.75 \text{ meq} / 100 \text{ g}$ a minimum indicating a medium level which is considered moderately toxic for some crops. The application of the different doses of amendments caused a decrease in the concentration of Al^{+3} in all treatments except the control (T0). However, significant differences were only found in T1 (use of 100% agricultural lime) on the decrease in Al^{+3} . Similarly, the pH of the soils increased at the end of the 15 days of incubation of the soils, being statistically different in T1 where 100% of recommended agricultural lime was used according to the level of exchangeable aluminum. Al^{+3} values decreased from moderately toxic to slightly toxic ($<1.8 \text{ meq} / 100 \text{ g}$ of soil). Electrical conductivity was low, but increased at the end of the incubation period. It is concluded that the best treatment was T1 in which 100% of the agricultural lime was used. The 15-day incubation period is not sufficient to achieve the reduction of Al^{+3} to less toxic and safer levels for the cultures. It is recommended to evaluate a longer incubation time and to test different classes and mixtures of agricultural amendments.

Keywords: acid soils, pH, exchangeable aluminum, acidity.

Introducción

La acidez del suelo y la toxicidad del aluminio se consideran las condiciones del suelo más dañinas que afectan el crecimiento de la mayoría de los cultivos (Đalović et al., 2012). Los suelos ácidos se caracterizan por tener un pH inferior a 5,5 y con frecuencia presentan toxicidad por aluminio intercambiable (Al^{+3}) y deficiencias de molibdeno (Mo) y otras condiciones que limitan el crecimiento de las plantas (Zapata, 2002). La toxicidad del aluminio se considera el principal factor limitante del crecimiento y el rendimiento en suelos con pH inferior a 5,0.

La acidificación del suelo es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis. Durante ella, ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en la pérdida de cationes alcalinos y alcalinotérreos (K, Na, Ca, Mg) e incremento análogo de cationes metálicos (Al^{+3} , Fe^{+3} , Mn) que pueden sufrir hidrólisis ácida (Pavlu et al., 2021; Zapata, 2002).

Existen otras formas de acidificación de los suelos entre las que se incluyen: i) mineralización de la materia orgánica (MO) o humus en la que los grupos carboxílicos, fenólicos y aminos son capaces de liberar H^+ ; ii) remoción de bases por lixiviación debido a las altas precipitaciones; iii) hidrólisis del Al intercambiable, Fe y Mn con la consecuente liberación de iones H^+ ; iv) Hidrólisis de óxidos de Fe y Al; actividad de las raíces; v) acción ácida de fertilizantes; vi) drenaje de suelos sulfatos ácidos y vii) oxidación biológica de compuestos de nitrógeno (N) y azufre (S) (Li y Johnson, 2016).

Los suelos ácidos impiden a los cultivos obtener un alto potencial de rendimiento y una buena cosecha, un ejemplo es en las regiones de México en Centroamérica, en donde el rendimiento del cultivo de maíz ha disminuido por causa de la acidez, la presencia de

elevadas concentraciones de aluminio, hierro y manganeso que llegan a niveles muy tóxicos para las plantas e impiden la absorción de calcio y magnesio (Castro et al., 2014).

Se puede estimar la acidez de un suelo mediante la determinación de la concentración de los iones de H^+ y se expresa como potencial de hidrógeno (pH) (Myers y De Pauw, 1995; Espinosa y Molina, 1999).

Los suelos ácidos en Colombia ocupan el 85% de la superficie (aproximadamente 96 millones de hectáreas (Jaramillo, 2002; IGAC, 2014). Una buena parte de éstos se encuentran en zonas constituidas por materiales parentales ácidos, en climas lluviosos y relieve ondulado como en la región Andina, Orinoquia y Amazonia (Guerrero, 1990).

El municipio de Pamplona se encuentra ubicado sobre la Cordillera Oriental de los Andes, con características de altas precipitaciones y abundante vegetación que favorecen el desarrollo de suelos ácidos. Es una zona completamente agrícola y entre los principales cultivos se encuentran la papa, arveja, fresa, etc.

En este sentido, se planteó la necesidad de evaluar el pH de los suelos, los niveles de aluminio intercambiable a fin de precisar la dosis más apropiada de cal agrícola para la neutralización del aluminio intercambiable en los suelos cultivados en el municipio Pamplona.

Planteamiento del problema

La acidez del suelo es un problema agrícola grave en muchas partes del mundo, que afecta hasta al 40% de las tierras cultivables del mundo. El 57% de los suelos tropicales presentan problemas de acidez, de este porcentaje las laderas tropicales ocupan entre el 16 y el 29% de suelos afectados por acidez (FAO, 2021)

La acidez incide directamente en la fertilidad de los suelos, ocasionando un mayor o menor grado un aumento de la solubilidad y movilidad de elementos tóxicos para las plantas y afectando de este modo la producción agrícola. Además, la acidez incide en otros fenómenos fisicoquímicos, como la capacidad de intercambio catiónico, la absorción de elementos y la presencia de aluminio en forma tóxica para las plantas (Calva y Espinoza., 2017).

A valores de pH del suelo iguales o inferiores a 5, las formas tóxicas de Al se disuelven en la solución del suelo, lo que inhibe el crecimiento y la función de las raíces y, por lo tanto, reduce el rendimiento del cultivo. Los suelos minerales contienen grandes cantidades de Al, la mayor parte del cual está encerrado en aluminosilicatos u óxidos de Al de la fracción de arcilla y no presenta un riesgo de toxicidad. Tras la acidificación del suelo, una fracción de este Al se vuelve soluble y potencialmente tóxico para las plantas (Đalović et al., 2011).

Las condiciones climáticas en Pamplona (altas precipitaciones y abundante vegetación) favorecen la formación de suelos ácidos, debido a que aumenta la concentración de aluminio, disminuyendo las cantidades de los demás nutrientes como el calcio, fósforo y magnesio (Valenzuela y Visconti, 2018). Los productores para reducir el efecto de los bajos pH aplican frecuentemente altas dosis de cal sin análisis previos de suelos ni estimaciones de las dosis precisas de cal agrícola.

Debido a la problemática de los suelos ácidos en los suelos agrícolas del municipio Pamplona, se planteó la pregunta: ¿es posible obtener una dosis apropiada de material encalante para corregir la toxicidad del aluminio intercambiable en suelos ácidos cultivados del municipio de Pamplona?

Justificación

La acidez afecta la fertilidad de los suelos, reduce la capacidad de intercambio catiónico y la absorción y solubilidad de nutrientes para las plantas, aumenta los niveles de aluminio intercambiable en forma tóxica para las plantas y reduce los rendimientos de los cultivos (Zapata, 2002). La acidez del suelo y la toxicidad del aluminio genera desbalance de nutrientes en el suelo, daño a los cultivos y disminución de los rendimientos al agricultor generando pérdidas económicas y formando un suelo infértil o muy tóxico para la producción de cultivos.

Existen dos estrategias de manejo de suelos ácidos, una es la utilización de variedades adaptadas a condiciones de acidez y la otra es la aplicación de enmiendas químicas y/o orgánicas al suelo. La aplicación de cal agrícola es uno de los métodos químicos más utilizados para la neutralización del aluminio intercambiable y la reducción de la acidez del suelo. Con su aplicación también se incorporan al suelo carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio (Ca) y/o magnesio (Mg). Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una variable capacidad de neutralización (Murillo-Montoya et al., 2020).

Las enmiendas químicas en dosis apropiadas son fundamentales para reducir la toxicidad del aluminio intercambiable, mejorar los rendimientos de los cultivos, y disminuir los costos excesivos en el uso de ello.

Por otro lado, el encalado excesivo puede ocasionar desbalance en la relación de algunos elementos nutritivos inhibiendo su absorción por parte de la planta y además representa un aumento en los costos de producción para el agricultor.

Debido a estos problemas en este proyecto se evaluó por medio de experimentos de incubación en el laboratorio las dosis más apropiadas de cal agrícola para neutralizar el exceso de aluminio intercambiable en suelos cultivados del municipio Pamplona.

Delimitación

Esta investigación se llevó a cabo en Pamplona, Norte de Santander, en el Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos CISVEB. Empezando con recoger muestras de suelos dedicados a la producción agrícola previo al encalado normal que realizan los agricultores en el municipio. Como enmiendas químicas se utilizaron la cal agrícola pura y gallinaza (Abimgra).

El ensayo se realizó en condiciones de incubación de suelos en el Laboratorio de Suelos Agrícola, de la Universidad de Pamplona, cuya ubicación se encuentra en el km. 1 vía a Bucaramanga, Pamplona, Norte de Santander.

Objetivos

Objetivo General

Determinar el nivel de acidez y los requerimientos de enmienda agrícola en suelos del municipio Pamplona, Norte de Santander mediante de pruebas de incubación en laboratorio.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar el nivel de acidez y aluminio intercambiable en suelos del municipio Pamplona, Norte de Santander.
2. Evaluar diferentes dosis de enmiendas agrícolas para neutralizar el aluminio intercambiable en suelos del municipio Pamplona mediante de pruebas de incubación en laboratorio.

Marco Teórico

Antecedentes

Sobre la base de consideraciones anteriores cabe resaltar el uso del suelo son importantes, pues están íntimamente relacionadas con la vida del hombre y las actividades de producción para su beneficio a nivel social, económico y cultural, que han originado deterioro y contaminación en las fuentes. Todo esto conlleva a que los autores que se mencionan a continuación indagaran sobre las causas de los fenómenos generados. De esta manera, los métodos realizados en las diversas investigaciones son fundamentales para obtener respuestas a estos cambios que se han creado, a medida que el ser humano va evolucionando y satisfaciendo sus necesidades.

Internacional

Garbanzo-León et al. (2017) evaluaron el efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el suelo y en el crecimiento de maíz bajo condiciones de invernadero y encontraron una disminución de la acidez y aumento del pH en los primeros 14 días después de la aplicación. También observaron que la fertilidad de los suelos mejoró y aumentó incrementó la altura de las plantas, longitud de las raíces y el peso seco de la biomasa del maíz.

Chatzistathis et al. (2015) evaluaron la influencia del encalado en las propiedades químicas del suelo y en el alivio de la toxicidad por manganeso y cobre en plantaciones de Eucalyptus y encontraron que después de la adición de CaCO_3 (tres aplicaciones, durante tres años sucesivos), el pH y contenido de CaCO_3 se incrementaron significativamente, mientras que el C y N orgánicos se redujeron significativamente. Las concentraciones de Ca intercambiable se incrementaron leve o significativamente, mientras que las de Mg

disminuyeron. Además, las relaciones Ca/Mg y C/N se incrementaron significativamente después del encalado.

Aguilar-Acuña et al. (2003) estudiaron el efecto del encalado, de las dosis y de las fuentes de fertilizante fosfatado, sobre el rendimiento de dos variedades de papa en un Andosol de la sierra veracruzana, México y encontraron que la cal tuvo un efecto favorable sobre el rendimiento (promedio de las variedades Tollocan y Mexiquense) de tubérculo de papa sólo cuando se aplicó superfosfato de calcio simple o superfosfato de calcio triple. La roca fosfórica no tuvo efecto sobre el rendimiento de la papa.

Calva y Espinosa (2017) determinaron el efecto de la aplicación de enmiendas en el control de acidez de un suelo representativo del grupo de suelos rojos clasificados como Oxic Dystrudepts en el cantón Loreto, provincia de Orellana, Ecuador

Castro et al. (2006) determinaron los requerimientos de neutralización de acidez a partir de curvas de encalamiento. En relación con los resultados se observó que evaluaban el mejoramiento químico del suelo presentando el mejor efecto correctivo de la acidez en la dosis de 16 t ha⁻¹ de CaCO₃ y para el horizonte Óxico la dosis de 1 t ha⁻¹ CaCO₃.

Analizando los resultados obtuvieron poder estabilizar suelos fuertemente ácidos por medio del aluminio intercambiable usando diferentes tipos de encalamiento. Se hizo este análisis con el fin de mejorar la estabilidad infértil que impedía el crecimiento vegetal de cultivos

Nacionales

En el ámbito nacional se encuentra el trabajo de Castro et al. (2006) presentando el diagnóstico y control de la acidez en los suelos sulfatados ácidos en el distrito de riego en el alto Chicamocha mediante pruebas de incubación, presentando los diferentes tipos de dosis de cales. De acuerdo con la similitud y tendencia de estos parámetros químicos, es posible diferenciar claramente dos grupos de SSA clasificados según sus procesos en estudios

previos del GISSAT (2004) y Gómez (2006). que claramente evalúan el cambio del pH ácido a ser más sustentable para la vegetación.

De acuerdo a la aportación por Castro y Munevar (2013) en el que indica como se contribuye la técnica del encalado al mejoramiento de la fertilidad química de suelos ácidos del Altiplano Boyacense (Colombia), se estimaron los requerimientos de cal ($t\ ha^{-1}CaCO_3$), para controlar la acidez, a partir de curvas de encalamiento, obtenidas de someter el suelo a pruebas de incubación. Según el carácter ácido del suelo, se exploraron experimentalmente dosis de $CaCO_3$, incorporadas en forma pura y mediante combinación de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y es-corias Thomas), bajo una relación porcentual 50:40:10, respectivamente.

Rosas et al. (2017) consideran que el encalado es una práctica común en el manejo de suelos ácidos, sin embargo, la información sobre encalado en suelos colombianos es precarios. Se construyeron curvas de incubación en un Typic Udorthents fuertemente ácidos, para lo cual se utilizaron dosis crecientes (0 - 1 - 3 - 5 - 7 - 9 - 11 Mg/ha) de cal dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) y carbonato de calcio ($CaCO_3$), con el fin de conocer el tipo y cantidad de material encalante (ME) de mejor reactividad y el que más favorece los cambios en la acidez: pH, Al^{3+} , H^+ y acidez total.

Marco contextual

La zona de estudio se encuentra ubicada en Pamplona, Norte de Santander, a una altitud de 2.200 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una precipitación acumulada anual de 784 mm, una temperatura promedio al año de 11,3 °C y una humedad relativa máxima de 86 % y media de 75 % (Figura 1) (Ideam, 2021).

Los suelos del Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos CISVEB, Pamplona Norte de Santander se caracterizan por ser suelos ácidos, aunque presentan buena capacidad de intercambio catiónico, alta saturación de bases y buen contenido de carbón orgánico y pertenecen a los órdenes Entisol e Inceptisol.

Figura 1. Ubicación geográfica de Pamplona, Norte de Santander.



Fuente: Silva (2019)

Bases Conceptuales

pH del suelo

Es una de las variables más importantes en los suelos agrícolas, pues afecta directamente a la absorción de los nutrientes del suelo por las plantas, así como a la resolución de muchos procesos químicos que en él se producen. En cambio, también hay cultivos que se adaptan mejor a pH más bien ácidos o básicos (FAO, 2021).

Reacción del suelo

Los suelos pueden tener una reacción ácida o alcalina, y algunas veces neutral. El valor de pH oscila de 0 a 14, y el $\text{pH} = 7$ es el que indica que el suelo tiene una reacción neutra. Mientras más distante esté la medida del punto neutro, mayor será la acidez o la alcalinidad (Dalovic et al., 2012)

Suelos ácidos

Los suelos ácidos se refieren aquellos que contienen un pH de valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año. Están asociados con un número de toxicidades de aluminio y deficiencias de molibdeno y otras condiciones restringentes para las plantas (FAO, 2021).

Origen de la acidez del suelo

Las principales causas de la acidificación del suelo son largos eventos de precipitación, drenaje de suelos potencialmente ácidos, deposición ácida, aplicación excesiva de fertilizantes a base de amonio, deforestación y prácticas de uso del suelo quitando los restos de cosecha (Myers y de Pauw, 1995).

Tipos de acidez del suelo

Activa o real: Es la que determina la concentración de H^+ en la solución del suelo y se determina en una solución agua:suelo.

Acidez potencial o de cambio: Se determinan las concentraciones de iones H^+ y Al^{+3} en forma intercambiable y se obtiene mediante extracción con una solución de Cloruro de potasio (KCl) 1N.

Acidez total: Consiste en la sumatoria de la acidez activa y la acidez potencial.

Aluminio intercambiable

El aluminio intercambiable es la principal fuente de acidez en los suelos tropicales donde dominan los sistemas de óxidos y aluminosilicatos recubiertos de óxidos. Este aluminio se encuentra en el llamado complejo arcilloso y puede ser extraído mediante una solución de sal neutra lo que nos puede proporcionar una medida de la acidez intercambiable que afecta a los cultivos (Li y Johnson, 2016)

Efecto de la acidez sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo

El mayor impacto que los pH extremos pueden tener en la planta está relacionado a la disponibilidad de los nutrientes o la concentración de minerales tóxicos para las plantas. En suelos bien ácidos, los nutrientes como el aluminio y manganeso se hacen más disponibles y tóxicos de lo usual (Zapata, 2002)

Toxicidad del aluminio intercambiable sobre los cultivos

El síntoma más perceptible por toxicidad de aluminio es la reducción del crecimiento radical en longitud, asociado con un incremento del diámetro de los ápices radiculares; las raíces laterales se ven afectadas, ya que crecen poco y se vuelven frágiles, es por ello que se ve reducido el volumen de raíces (Pavlu et al., 2021)

Encalado de suelos ácidos

El síntoma más perceptible por toxicidad de aluminio es la reducción del crecimiento radical en longitud, asociado con un incremento del diámetro de los ápices radiculares; las

raíces laterales se ven afectadas, ya que crecen poco y se vuelven frágiles, es por ello que se ve reducido el volumen de raíces (Murillo-Montoya et al., 2020)

Efecto del encalado en los suelos

Las reacciones de los materiales encalantes, solo se producen cuando se ponen en contacto la cal con el agua del suelo, por lo que la efectividad se da sólo cuando existe humedad en el suelo (Zapata, 2002).

Tipos de enmiendas

Los principales productos son el óxido de calcio, hidróxido de calcio, calcita y dolomita, siendo los 2 primeros subproductos de la industria (cal viva y cal apagada) que presentan problemas con su manipulación debido a su alta corrosión.

Por otro lado, la calcita y la dolomita son rocas que son molidas finamente para ser utilizadas.

La calcita corresponde a lo que se conoce como carbonato de calcio (CO_3Ca) y la dolomita es el carbonato doble de calcio y magnesio ($(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$) (Murillo-Montoya et al., 2020).

Marco legal

ARTÍCULO 9. SUELO RURAL. El suelo rural comprende “Los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales” y “alberga los elementos naturales y actividades productivas que proveen los principales bienes y servicios ambientales y ecosistémicos necesarios para el desarrollo de las actividades de la ciudad y del territorio.” (Ley 388 de 1997). El área del suelo del municipio de Pamplona corresponde a 29112,82 hectáreas.

ARTÍCULO 10. PERÍMETRO DEL SUELO RURAL. El perímetro del suelo rural se encuentra definido y delimitado en el plano R-6 Clasificación del suelo y del cual hacen parte: El Suelo Suburbano y El Suelo de Protección. Dentro de esta categoría quedan enmarcados los demás predios que no son ni urbanos, ni de expansión.

ARTÍCULO 14. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL SUELO DE PROTECCIÓN. La identificación del suelo de protección se encuentra definida y delimitada en los planos U-4 Áreas de protección hídrica urbana, R-4 Áreas de protección hídrica Rural y R-5 Áreas de protección

Metodología

Tipo de investigación

El tipo de investigación es de tipo experimental de campo y laboratorio, en el cual se tomaron muestras de suelo en campo (Anexo 1) que luego fueron incubadas con diferentes dosis de materiales encalantes bajo condiciones controladas de laboratorio.

Diseño experimental

Se procedió a realizar un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y cinco repeticiones con el fin de diagnosticar el nivel de acidez y la presencia de aluminio intercambiable, así como la estimación bajo condiciones controladas de laboratorio, de la dosis más apropiada de cal agrícola necesaria para la neutralización del aluminio intercambiable.

Población

La población de este estudio estuvo conformada por una unidad de producción que esté próxima a ser sembrada con cualquiera de los cultivadas transitorios que usualmente se siembran en el Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos CISVEB, municipio Pamplona, Norte de Santander.

Muestra

En la unidad de producción se seleccionó un área de 1000m² (5 m x 20 m) dentro de la cual se tomó una muestra de suelos compuesta por 6 submuestras a la profundidad de 0-20 cm. (anexo 1) Es importante destacar que la toma de muestras se realizó antes de que el productor proceda a encalar como usualmente lo hace. Las muestras de suelos fueron llevadas al laboratorio. (anexo 3) Una vez en el laboratorio se tomaron cuatro submuestras de cada muestra para cada tratamiento.

Procesamiento de las muestras de suelo y diseño de los tratamientos

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de Suelos Agrícolas de la Universidad de Pamplona. De acuerdo con la concentración de aluminio intercambiable presente en los suelos se procedió a calcular las dosis de cal agrícola requeridas para neutralizar el aluminio intercambiable y se definió los tratamientos de incubación expresados en dosis de carbonato de calcio (CaCO_3). Bajo esta modalidad se evaluaron el efecto de diferentes dosis de CaCO_3 puro (EQ =100); y gallinaza como la Abimgra utilizados en una relación porcentual 50:50, respectivamente.

Cada unidad experimental estuvo representada por 200 g de suelo húmedo a capacidad de campo que fueron sometidas a pruebas de incubación en laboratorio una vez adicionada las dosis de cal agrícola y gallinaza, expresadas en EQ CaCO_3 y correspondientes a cada tratamiento (anexo 4). A cada tratamiento se le hicieron cinco repeticiones, esto generó un total de 20 unidades experimentales (4 tratamientos con cinco repeticiones).

La dosis calculada de carbonato de calcio de acuerdo con la concentración de aluminio intercambiable encontrada en los suelos (2,0 meq/100 g de suelo) fue de 1456 kg de CaCO_3 /ha de suelo. Para 200 g de suelo, que fue la cantidad que se usó para el experimento de incubación, se hicieron las respectivas conversiones según la dosis evaluada tanto para la cal agrícola como para la enmienda orgánica.

Se seleccionaron dosis de 0 %, 50 % y 100 % (en $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 puro EQ=100); en función de la dosis calculada requerida para neutralizar el aluminio intercambiable y la combinación de materiales enalantes en relación porcentual 50:50, de CaCO_3 puro, y gallinaza (Abimgra), respectivamente, que resultaron en un total de cuatro tratamientos tal como se especifican a continuación:

T0 = Control o testigo (0 dosis de CaCO_3 sin encalar)

T1 = 100 % de CaCO_3 de la dosis calculada (0,15 g de CaCO_3 /200 g suelo)

T2 = 50 % de CaCO_3 de la dosis calculada (0,075g de CaCO_3 /200g suelo)

T3 = 50 % de la dosis calculada distribuida en una proporción 50% CaCO_3 + 50% gallinaza, Abimgra (0,075g de CaCO_3 /200g suelo y 0,075g de Abimgra/200g suelo)

Los suelos fueron incubados bajo condiciones de laboratorio por un período de 15 días. Se midió el pH, la conductividad eléctrica y el aluminio intercambiable antes de incubar los suelos con los diferentes tratamientos y a los 15 días de incubación.

Características de la cal agrícola empleada

Nombre de la cal utilizada: Agrical (Anexo 5). Es un acondicionador inorgánico tipo enmienda

Resultados analíticos:

Calcio (Ca): 46,4%

Magnesio (Mg) 1,60%

Carbonato (CO_3): 50,40%

Humedad: 2,48%

Producido y distribuido por: ABOB Ltda. (abonos orgánicos de Boyacá)

Resolución ICA 3595

Registro de venta ICA No. 4580

Características de la enmienda Abimgra

Nombre de la enmienda: Abimgra (Anexo 5)

Es un acondicionador orgánico mineral de suelos en polvo

Composición garantizada:

Nitrógeno total (Nt): 2,0%

Fósforo total (P₂O₅): 5,0%

Potasio soluble en agua (K₂O): 3,0%

Calcio (CaO): 10,0%

Silicio (SiO₂): 24,0%

Materia Orgánica: 35,0%

Carbono Orgánico oxidable: 9,0%

Relación carbono /nitrogeno:7,5%

Cenizas: 52,0%

Humedad máxima: 13,0%

pH: 7,5

Densidad: 0,1g/cm³

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): 25 mEq/100g

Capacidad de retención de humedad (CRH): 87,0%

Fuentes: compost preparado a partir de la mezcla de: caprinaza, bagazo de caña de azúcar, lombricompost, gallinaza, roca fosfórica, carbonato de calcio y polihalita.

Producido y distribuido por: ABOB (abonos orgánicos de Boyacá)

Registro de venta ICA No. 4580

Proceso de incubación en laboratorio

El proceso de incubación se llevó a cabo a temperaturas de 25 °C, manteniendo el suelo a capacidad de campo durante 15 días en recipientes plásticos herméticamente sellados (Anexo 4). Para estimar la cantidad de CaCO₃ de 100% de pureza, se tuvo en cuenta la humedad inicial del suelo para llevarlo a capacidad de campo y los valores de

densidad aparente (método del cilindro) (Anexo 9). Se midió el pH, la conductividad eléctrica y el aluminio intercambiable antes del inicio de la incubación de los suelos, a los 5 días, a los 8 días y a los 12 días de incubación. Adicionalmente se determinó la textura, densidad aparente y el contenido de materia orgánica de los suelos como variables complementarias.

Análisis físicos y químicos de suelos

Textura

La textura se determinó por el método de Bouyucos propuesto por Gee y Bauder (1986). Para establecer la textura del suelo por este método, en análisis de rutina y con suelos que tengan bajo contenido de materia orgánica (< 5%). Se realizaron los siguientes pasos:

Se pesaron 40 g de suelo, cernido por tamiz de 2 mm y seco al aire (Anexo 2). Se colocó el suelo en el vaso de una batidora (especialmente diseñada para no moler el suelo), agregándole 100 mL de agente dispersante (Hexametáfosfato de sodio) y 100 mL de agua destilada, y se licuó durante 5 minutos (Anexo 10).

Luego se transfirió la suspensión anterior a un cilindro graduado de 1000 mL, se lavó el vaso con agua destilada y se complementó el volumen del cilindro.

Se agitó la suspensión unas 10 veces, vigorosamente, con un émbolo de caucho y se dejó reposar, tomando registro del tiempo a partir del momento en que se retiró el émbolo (Anexo 11).

A los 40 segundos de reposo se hizo la primera lectura con el hidrómetro apuntando, además, la temperatura de la suspensión; con esta lectura se calculó el contenido de arena (A%).

Al terminar la lectura de los 40s, se retiró el hidrómetro y se dejó en reposo la suspensión hasta completar 2 horas. Al cabo de éstas, se introdujo nuevamente el hidrómetro haciéndose otra lectura; también se tomó la temperatura; con esta lectura se calculó el contenido de arcilla (Ar%).

Por último, se calculó el contenido de limo (L%).

Los porcentajes obtenidos se llevaron al triángulo textural y se definió la clase textural correspondiente a la muestra tratada.

Densidad aparente

La densidad aparente fue medida por el método del cilindro de Blake y Hartge (1986). Para ello en cada parcela seleccionada en campo se tomaron seis muestras de suelos sin perturbar con un cilindro de suelos de altura y diámetro conocido y fueron llevados al laboratorio (Anexo 9). Conociendo el volumen del cilindro se procedió a calcular la densidad aparente con la siguiente fórmula:

$$= Da \left(\frac{g}{cm} \right) = \frac{\text{Peso de suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

Se tomaron muestras de suelo sin perturbar en campo con el uso de un cilindro de metal. Se retiró el cilindro lleno con suelo, y enrasando sus bordes con una navaja, se colocaron en una bolsa plástica y se sella, se llevó al laboratorio (Anexo 12).

se procedió a pesar el cilindro más el suelo

Colocando el cilindro más suelo dentro de la estufa a 105° C por 48 horas. Al cabo de 48 horas fue sacado el suelo, colocándolo en un desecador con tapa hasta que se enfriara el cilindro y se pesó de nuevo (Anexo 12).

Se tomó parte del peso del cilindro sólo y se le restó el peso del suelo para obtener el valor del peso del suelo seco a 105°C. 6. Además, al cilindro se le tomaron las medidas de su longitud (h) y de su diámetro interno (d), con las cuales se calculó el volumen de éste.

Porcentaje de humedad del suelo

La humedad fue medida por el método gravimétrico sugerido por Gardner (1986). Con las mismas muestras con las que se determinó densidad aparente fue determinado el porcentaje de humedad inicial de los suelos (Anexo 9). Se tomó el peso inicial de suelo a la humedad de campo, luego el suelo fue secado en un horno a 105°C durante 24 horas, luego de ese tiempo se procedió a pesar la muestra (Anexo 13). Porcentaje de humedad del suelo fue determinado con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco (g)}}{\text{Peso de suelo seco (g)}} * 100$$

pH de los suelos

Se realizó según la metodología propuesta por Gee y Bauder (1982) en el cual se tomó 10 gramos de suelo seco y tamizado por la malla con diámetro menor de 2 mm luego se le adicionaron 20 mL de agua destilada para así poder medir el pH en un potenciómetro (Anexo 14).

Se tomaron 10 g de suelos en un recipiente y se le agregaron 20 mL de agua destilada.

Se agitó durante cinco minutos. Dejando en reposo durante diez minutos, pasando a hacerse lectura directamente sobre la suspensión con electrodo de vidrio previamente calibrado con una solución amortiguadora de pH 4 y pH 7. El electrodo de vidrio se sumergió dentro del líquido que sobrenada en la muestra (Anexo 14).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica fue medida en una relación suelo y agua 1:2, es decir, se tomó 10 gramos de suelo seco y tamizado por la malla con diámetro menor de 2mm y se le adicionaron 20 mL de agua destilada. Para la medición se utilizó un conductímetro (Gee y Bauder, 1982). Luego se registraron los datos dados por el conductímetro; estos datos son expresados en micromho por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$), equivalentes a microsiemens por centímetro ($\mu\text{S/cm}$) (Anexo 15).

Determinación de la acidez potencial o de cambio y el aluminio intercambiable

La determinación de la acidez y aluminio intercambiable se realizó de acuerdo con el método propuesto por Gee y Bauder (1982), este se basa en el uso de una sal neutra como el Cloruro de Potasio (KCl) con un ión desplazante (K^+), el cual provoca que los iones ácidos (Aluminio (Al^+) e Hidronios (H^+) pasen a la solución. Se procedió a tomar cinco gramos de suelo y se colocó en un vaso de extracción. Se agregó 10 mL de solución extractora de cloruro de potasio 1N y se agitó durante 10 minutos. Procediendo a filtrar (Anexo 16).

Luego se tomó una alícuota del filtrado y se diluyó con agua destilada, seguido se adiciono 2 gotas de fenolftaleína y se tituló con la disolución de hidróxido de sodio hasta la aparición de un color rosado tenue; de esta forma se obtuvo la “Acidez Intercambiable”. Para determinar el “Aluminio Intercambiable” se añadió el Fluoruro de Potasio y se tituló con Ácido Clorhídrico hasta que el color rosado desapareciera (Anexo 16). Se anotaron los volúmenes gastados y se procedió a realizar los respectivos cálculos.

Porcentaje de materia orgánica

Se determinaron por el método de pérdidas por ignición de Westman *et al.* (2006) el cual consiste en someter la muestra de suelo a una temperatura de 450°C.

Para poder conocer el porcentaje de materia orgánica (%MO) se realizaron los siguientes pasos:

Para la preparación de la muestra se inició pesando 10 g de suelo seco tamizado por la malla de 2,00 mm, luego se colocó la muestra en un recipiente o crisol de porcelana y fue llevado al horno a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C para secarla hasta peso constante. Posteriormente, se removió la muestra del horno, colocándola en el desecador y se permitiendo su enfriamiento (Anexo 17).

Después de que las muestras se enfriaron, se procedió a hacer el procedimiento de ignición, pesando 5 g de suelo de la muestra previamente seca a 110° C en crisoles tarados o en platos de evaporación de porcelana. Se colocó el crisol o el plato que contiene la muestra dentro de la mufla durante 6 horas a $445^{\circ} \pm 10^{\circ}$ C. previamente se sacó la muestra de la mufla, colocándola en el desecador y se permitiendo su enfriamiento (Anexo 17).

Para finalizar se removió del desecador la muestra enfriada y se pesó con aproximación a 0.01 g en la balanza analítica.

Finalmente se anotaron los datos de las muestras, procediendo a calcular el porcentaje de materia orgánica (% MO) con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de materia orgánica} = \frac{A - B}{A - C} \times 100$$

Donde:

A = Peso del crisol y del suelo seco antes de la ignición

B = Peso del crisol y del suelo seco después de la ignición

C = peso del crisol, con aproximación a 0,01 g.

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados con estadística descriptiva y además se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA). Cuando el ANOVA fue significativo, se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. Se utilizó el paquete estadístico Statistica.

Resultados y discusión

Propiedades químicas y físicas y nivel de acidez y aluminio intercambiable en los suelos

Analizando las condiciones físicas de suelos, se puede observar que la densidad aparente promedio de los suelos fue baja ($0,91 \pm 0,06 \text{ g/cm}^3$). El porcentaje de humedad promedio encontrado fue de $22,54 \pm 2,87$. Al analizar los porcentajes de arena, limo y arcilla se tiene que predominan las fracciones medias a finas, obteniéndose una clase textural franco arcilloso con un predominio importante del porcentaje de arcilla (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físicas de los suelos.

	Densidad aparente	Humedad	Arcilla	Arena	Limo	Clase
	(g/cm^3)	gravimétrica				textural
Porcentaje (%)						
Promedio	0,91	22,54	34,62	35,54	29,83	Franco arcilloso
DE	0,06	2,875	3,29	10,40	7,61	
Mínimo	0,82	17,01	32,30	15,40	23	
Máximo	0,98	24,62	40,75	44,7	43,85	

DE: Desviación estándar. Fuente: Autores

La densidad aparente encontrado en los suelos analizados fue baja en comparación con los valores de referencia para suelos de clase textural franco arcilloso ($1,30-1,40 \text{ g/cm}^3$) lo cual indica que estos suelos no tienen problemas de compactación. Los valores de

densidad aparente obtenidos son relativamente similares a los encontrados por Valenzuela y Visconti (2020) en suelos de bosque, pasturas y cultivos hortícolas intensivos de la vereda Monte dentro del municipio de Pamplona (1,03, 1,03 y 1,34 g/cm³, respectivamente). Contrarios a la textura media a fina encontrada en los suelos de este estudio, Valenzuela y Visconti (2020) reportan texturas medias a moderadamente gruesas en los sitios antes mencionados.

Una densidad aparente baja indica que los suelos poseen altos contenidos de materia orgánica. Eso se evidencia en los resultados mostrados en la tabla 2, donde se puede observar que el porcentaje de materia orgánica promedio fue de 5,55±1,87. En la tabla 2 también se puede ver que el pH de los suelos fue moderadamente ácido (5,29) y la conductividad eléctrica fue de 14,39 µS/cm. Por otro lado, el aluminio intercambiable (Al⁺³) encontrado fue de 2,0±0,75 meq/100 g un mínimo de 0,8 y un máximo de 3,6 meq/100 g de suelo.

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos.

	Propiedades químicas			
	pH	CE (µS/cm)	MOS (%)	Al ⁺³ intercambiable (meq/100 g suelo)
Promedio	5,29	14,39	5,57	2,00
DE	0,23	3,09	1,87	0,75
Mínimo	5,08	8,70	2,15	0,8
Máximo	5,93	21,50	7,03	3,6

DE: Desviación estándar; CE: Conductividad eléctrica; MOS: Materia orgánica del suelo.

Fuente: Aragón C, Vivas C.

El valor de pH encontrado puede ser una limitante para cultivos que son sensibles a pH moderadamente ácido. Usualmente cuando el pH del suelo es bajo es posible encontrar concentraciones altas de Al^{+3} , y es lo que se pudo evidenciar en el análisis de suelos. Una concentración de Al^{+3} indica que el suelo tiene un nivel medio de este elemento lo que significa que puede ser moderadamente tóxico para algunos cultivos. De igual, forma en zonas de altas precipitaciones como es el caso del municipio Pamplona es común encontrar pH ácido en los suelos por el efecto del lavado o lixiviación de las bases del suelo por causa de las precipitaciones.

El valor de pH encontrado en los suelos es similar al reportado por Valenzuela y Visconti (2020) en suelos bajo diferentes usos (5,07 a 6,99). Estos autores encontraron que los suelos de bosque y pastura, la acidez fue de moderada a fuerte, mientras que bajo cultivo intensivo el pH neutro como consecuencia del encalado. La conductividad eléctrica de los suelos indica que no existen problemas de sales en estos suelos.

La materia orgánica de los suelos es influenciada por el clima, el pH y las características físicas de los suelos, especialmente la textura y los contenidos de arcilla. Los valores de materia orgánica encontrados en estas condiciones de clima frío del municipio de Pamplona a una altitud de 2300 msnm y temperaturas menor a 18°C se consideran está en un nivel de bajo a suficiente según Jaramillo (2002).

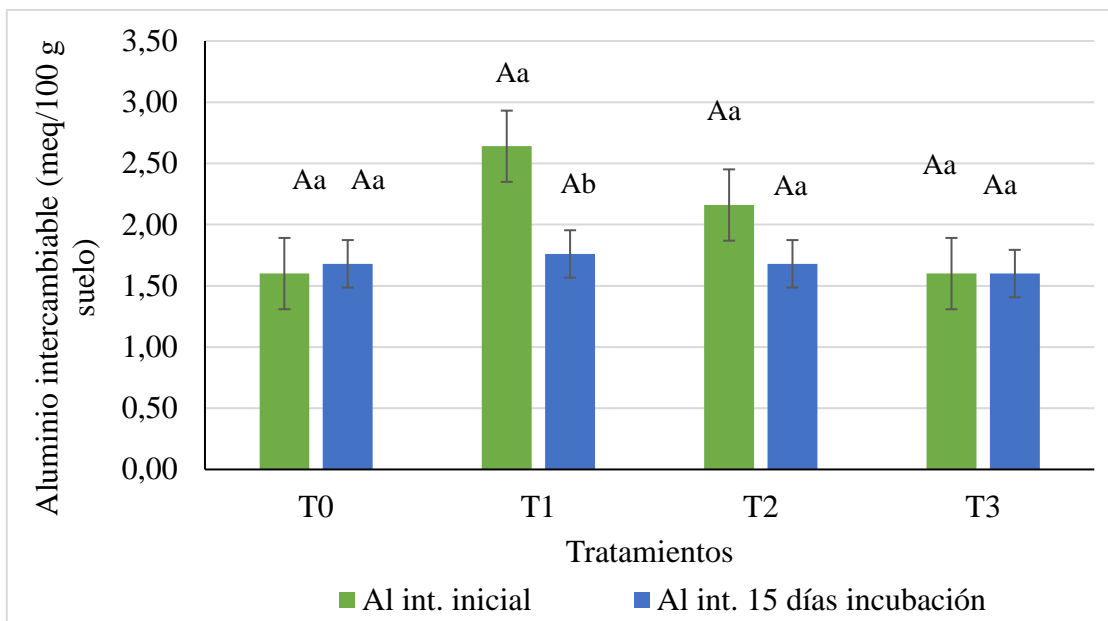
Efecto de las diferentes dosis de enmiendas agrícolas sobre el aluminio intercambiable en los suelos

Debido a los valores medios de Al^{+3} encontrados los cuales pueden ser moderadamente tóxicos para algunos cultivos se procedió a hacer las estimaciones de la cantidad de enmiendas agrícolas más apropiadas para neutralizar el Al^{+3} y en consecuencia corregir la acidez activa del suelo.

En la figura 2 se puede apreciar el efecto que tuvo las diferentes dosis y fuentes de enmiendas químicas y orgánicas sobre el Al^{+3} de los suelos. La aplicación de las diferentes dosis y enmiendas causaron una disminución de la concentración del Al^{+3} durante los 15 días de incubación en todos los tratamientos con excepción del control (T0). Sin embargo, según los resultados estadísticos solamente se encontró diferencias significativas en T1 (uso del 100 % de cal agrícola) sobre la disminución del Al^{+3} .

Entre tratamientos para un mismo tiempo de incubación no se encontraron diferencias en la concentración del Al^{+3} entre tratamientos antes de la incubación y al final de la incubación.

Figura 2. Cambios en la concentración de aluminio intercambiable en 15 días de incubación de los suelos.



Columnas acompañadas por letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tiempo de incubación. Columnas acompañadas por letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. T0 = Control o testigo (0 dosis de CaCO_3 sin encalar); T1 = 100 % de CaCO_3 de la dosis calculada (0,15 g de CaCO_3 /200 g suelo); T2 = 50 % de CaCO_3 de la dosis calculada (0,075 g de CaCO_3 /200 g suelo); T3 = 50 % de la dosis calculada distribuida en una proporción 50% CaCO_3 + 50 % gallinaza, Abimgra (0,075 g de CaCO_3 /200 g suelo y 0,075 g de Abimgra/200 g suelo).

Fuente: Autores.

En un período de incubación de 15 días se logró reducir el Al^{+3} a niveles ligeramente tóxicos ($< 1,8$ meq/100 g de suelo). Esto indica que se requiere más tiempo de incubación para que la cal sola o en combinación con la enmienda orgánica logren neutralizar completamente el Al^{+3} a niveles no tóxicos y seguro para los cultivos.

Es importante tener en cuenta que el valor de pH al cual un suelo debe ser neutralizado, es el valor de pH que favorece las mejores condiciones de desarrollo para las

plantas. Sin embargo, la acidez del suelo por sí misma (concentración de H^+) es rara vez fitotóxica en los suelos, sino más bien representa la concentración de Al^{+3} , Mn^{+2} o Fe^{+3} , los cuales, en altas concentraciones son tóxicos para la vida vegetal (Halvin et al., 1999). Por lo que, al encalar los suelos, se busca la neutralización de los elementos tóxicos, entre estos el Al^{+3} con determinada cantidad de $CaCO_3$ necesaria para neutralizarlo a un nivel que no sea tóxico para un cultivo (McLean y Brown, 1984).

Es por ello por lo que se debe tener claro que la acidez activa está relacionada únicamente con la concentración de H^+ en la solución del suelo. Por otro lado, las fracciones lábiles son estimadas a través de la medición de la acidez potencial del suelo, donde se incluyen la acidez intercambiable y la acidez residual. En este estudio se determinó la acidez intercambiable, la cual está relacionada con el complejo de intercambio, influenciado por la adsorción electrostática, expresada en los sitios de intercambio catiónico presentes en un suelo, mientras que la acidez residual corresponde a aquella generada por la disociación de H^+ desde los grupos carboxilos, hidróxilos y aminos presentes en la materia orgánica y por la disociación desde los óxidos hidratados de Fe y Al (Marschner, 1995).

Aunado a esto, es importante tener en cuenta el poder tampón o capacidad de amortiguamiento que presentan los suelos, la cual es definida como la cantidad de ácido o base necesaria para modificar una unidad de pH. A mayor es la capacidad tampón del suelo mayor es la necesidad de adición de base o ácido para variar el valor de pH, y es afectada por factores como el tipo de material parental, contenido y tipo de arcilla, contenido de materia orgánica y la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Fassbender, 1987). Estos factores están relacionados con la acidez intercambiable y a su vez con la capacidad de

intercambio catiónico (CIC) del suelo. En tal sentido, suelos arcillosos y ricos en materia orgánica, con una alta CIC, tienen mayor capacidad tampón y, por lo tanto, necesitarán una gran cantidad de CaCO_3 para neutralizar la acidez (Brady y Weil, 1999). Lo contrario sucede en suelos con alto porcentaje de arena, cuya CIC es baja y, por ende, tendrán una capacidad tampón menor, así como una menor necesidad de adición de CaCO_3 para neutralizar su acidez.

Esto pudiera explicar el poco cambio observado en el pH del suelo, puesto que los suelos tratados tienen un porcentaje de materia orgánica de medio alto, así como un alto porcentaje de arcilla.

De manera similar a este estudio, Castro et al. (2006) demostraron que la incubación de los suelos sulfatados ácidos en el distrito de riego en el alto Chicamocha con cal agrícola en dosis significativa disminuye el Al^{+3} adecuándolos a diferentes cultivos.

Cambios en el pH y la conductividad eléctrica de los suelos con el tiempo de incubación

Los datos obtenidos como muestra la tabla 3, demuestran que el pH inicial obtenido en el suelo fue moderadamente ácido en todos sus tratamientos antes de agregarles las diferentes dosis de cal agrícola y enmienda. La aplicación del 100 % de la cal agrícola calculada según el nivel de aluminio intercambiable de los suelos (T1) a una dosis de 1456 kg/ha (0,15 g de CaCO_3 /200 g suelo) aumentó el pH del suelo de 5,20 al inicio antes de encalar a 5,82 a los 15 días de incubación, siendo éste el mayor incremento obtenido en comparación con el resto de los tratamientos en los cuales no se encontró diferencias estadísticas al inicio y al final de la incubación.

En el T2 en el que se agregó la mitad de la dosis de cal agrícola y en el T3 en el que se usó la mitad de la dosis de cal agrícola en combinación con la enmienda orgánica también causó un aumento del pH, pero en menor proporción con respecto al T1.

La conductividad eléctrica de los suelos aumentó con la aplicación de la enmienda química y la combinación con la enmienda orgánica durante el tiempo de incubación.

Al comparar entre tratamientos, el pH inicial resultó diferente entre T0 con el resto de los tratamientos, mientras que entre T1, T2 y T3 no hubo diferencias. El pH final presentó diferencias entre T0 con T1 y T2, pero fue igual a T3. El pH al final del período de incubación fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) que el resto de los tratamientos. Entre T2 y T3 no hubo diferencias. La CE no presentó diferencias entre tratamientos al inicio del experimento mientras que al final de la incubación T1 presentó diferencias con el resto de los tratamientos.

Tabla 3. Efecto de las enmiendas sobre el pH y la conductividad eléctrica de los suelos.

Tratamientos	Propiedades químicas			
	pH inicial	pH final incubación	CE inicial ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CE final ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
T0	5,64Aa	5,34ACb	13,98Aa	49,28Ab
T1	5,20Ba	5,82Bb	15,64Aa	24,16Bb
T2	5,16Ba	5,52Cb	13,58Aa	49,64Ab
T3	5,15Ba	5,43Cb	14,34Aa	47,28Ab

Valores promedio seguidos por letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre tiempo de incubación. Valores promedio seguidos por letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre tratamientos. T0 = Control o testigo (0 dosis de CaCO_3 sin encalar); T1 = 100 % de CaCO_3 de la dosis calculada (0,15 g de

CaCO₃ /200 g suelo); T2 = 50 % de CaCO₃ de la dosis calculada (0,075 g de CaCO₃/200 g suelo); T3 = 50 % de la dosis calculada distribuida en una proporción 50% CaCO₃ + 50 % gallinaza, Abimgra (0,075 g de CaCO₃/200 g suelo y 0,075 g de Abimgra/200 g suelo).

Fuente: Autores.

El pH es un factor muy importante en el suelo como lo menciona Cuervo (2019) debido a que determina la disponibilidad de los nutrientes en los suelos y en consecuencia el rendimiento de los cultivos.

Resultados similares fueron encontrados por Cabrales y Acosta (2020) en suelos cultivados con tomate en el municipio El Roble, departamento de Sucre. En ese estudio se encontró que la aplicación de cal en suelos ácidos mejoró las condiciones químicas y se aumentó el pH, lo que favorece la disponibilidad nutricional, especialmente fósforo y suministro de bases intercambiables, que fueron utilizadas por el cultivo de tomate. Las diferentes dosis de cal presentaron valores de rendimiento del cultivo de tomate superiores al testigo, lo que sugiere una fuerte tendencia del efecto positivo del calcio en este parámetro evaluado. Sin embargo, el aumento en el rendimiento del cultivo se obtuvo hasta una dosis de 3 t ha⁻¹, a partir de ese momento tiende a disminuir, posiblemente porque con dosis mayores de cal, el calcio disponible puede afectar negativamente al suelo químicamente balanceado, disminuyendo así la posibilidad de absorción de otros nutrientes.

Cuando se aplica cal agrícola al suelo se suministra también calcio, por lo tanto, las plantas se nutren mucho mejor y, por tanto, serán más tolerantes al ataque de patógenos. En este sentido, el encalado y el plan de fertilización basado en el análisis de los suelos permiten obtener una buena respuesta del cultivo en términos de producción. De acuerdo

con Zapata (2004) la cal agrícola en dosis apropiadas neutraliza el aluminio intercambiable en suelos ácidos en tiempo determinados.

En un estudio donde se aplicó enmiendas líquidas a suelos cultivados con maíz bajo condiciones de invernadero se logró aumentar el pH de los en un tiempo de 14 días También observaron que la fertilidad de los suelos mejoró y aumentó incrementó la altura de las plantas, longitud de las raíces y el peso seco de la biomasa del maíz (Garbanzo-León et al., 2017).

En otro estudio, realizado por Chatzistathis et al. (2015) se encontró que la adición de CaCO_3 aumentaron el pH y la concentración de Ca intercambiable. Además, las relaciones Ca/Mg y C/N se incrementaron significativamente después del encalado.

En este estudio, el análisis del pH y del aluminio intercambiable permitió calcular una dosis de cal agrícola de 1456 kg/ha la cual permitió disminuir la concentración de aluminio intercambiable y aumentar el pH de los suelos.

Conclusiones

La mejor enmienda para neutralizar efectivamente el aluminio intercambiable fue el tratamiento con cal agrícola al 100 % de la dosis recomendada, debido a su efecto significativo en comparación con los otros tratamientos.

El período de incubación de 15 días no fue suficiente para alcanzar la disminución del Al^{+3} a niveles menos tóxicos y más seguros para los cultivos.

La incubación de los suelos en laboratorio es una metodología eficiente que permite calcular la dosis más apropiada de $CaCO_3$ para controlar el aluminio intercambiable y la acidez activa de los suelos.

Recomendaciones

Para los suelos analizados se recomienda hacer encalamiento con cal agrícola en un 100 % de CaCO_3 de la dosis recomendada según los niveles de aluminio intercambiable encontrados, el cual está relacionado con la acidez intercambiable. En este caso, la dosis calculada fue de 1456 kg/ha a fin de reducir los niveles de aluminio intercambiable de los suelos a niveles no tóxicos.

Incubar los suelos por un tiempo mayor a 15 días para lograr una mayor disminución del Al^{+3} a un nivel que no interfieran con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Probar diferentes enmiendas orgánicas, dosis y combinaciones con la cal agrícola especialmente por el beneficio que genera el aporte de materia orgánica de los suelos.

Bibliografía

- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A., y Alcover, J. F. (2014). Lime consumption of different clayey soils. *Applied Clay Science*, 95: 133-145.
- Anikwe, M. A., Eze, J. C. y Ibudialo, A. N. (2016). Influence of lime and gypsum application on soil properties and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) in a degraded Ultisol in Agbani Enugu Southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 158, 32-38.
- Avilés, J., y Piedra, R. (2017). Manual del cultivo de papa en Costa Rica (*Solanum tuberosum* L.). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, C.R: INTA, 2017. 92 p. ISBN 978-9968-586-11-5
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10931.pdf>
- Bárcenas. J., Gascón. G., Lopez. R., Hernandez.J., Larreal. M y Bracho. B., (2014). El equivalente de CaCO_3 como criterio para realizar mezclas de materiales para la enmienda de acidez en Ultisoles. Estudio en columnas simuladas de suelo. *Agron*, <file:///C:/Users/DELL/Documents/trabajo%20de%20grado/Bárcenas%20et%20al.%202014.%20El%20equivalente%20de%20CaCO3%20como%20criterio%20para%20realizar%20mezclas%20de%20materiales%20para%20la%20enmienda%20de%20acidez.pdf>
- Basak, B., y Biswak, D. (2016). Potentiality of Indian rock phosphate as liming material in acid soil. *Geoderma*, 263: 104-109.
- Brady, N., and R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. 881 p. 12th ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.

Cabrales. E., (2010) Respuesta a la aplicación de calcio sobre la pudrición aplicada del fruto del tomate del balle medio del Sinu (Córdoba, Colombia). Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo.

<https://drive.google.com/file/d/1iISAxXeRrXQsX0UqZWrOApAyp68ICR8A/view>

Calva, C., y Espinoza, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. control de la acidez de un suelo. *Siembra* 4 (1) (2017) 110–120

<https://drive.google.com/file/d/17nBl5yRnCVugwgJ9fByNXJgsVE7RZmdP/view>

Castellanos, J. (2014). Manejo y Corrección de la Acidez de los suelos. hojas Técnicas de Fertilab, México. 4 p, INTAGRI S.C.,

<https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo#:~:text=La%20presencia%20de%20aluminio%20>.

Castro, H. E., Gómez, M. I., Munévar, O. E. y Hernández, D. M. (2006). Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos en el Distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá) mediante pruebas de incubación. *Agronomía Colombiana*, 24(1): 122-130.

<https://drive.google.com/file/d/16iCu2lFWPrvzkRcRfYnstlyw5aWAPB1i/view>

Castro, H., y Munévar, O. (2013). Mejoramiento químico de Suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 16 (2): 409-416.

<https://drive.google.com/file/d/1yItcET7fEfy9FLqjFlyfdh921eHCPVft/v>

Chatzistathis, T., Alifragis, D., y Papaioannou, A. (2015). The influence of liming on soil chemical properties and on the alleviation of manganese and copper toxicity in *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia*, *Eucalyptus* sp. and *Populus* sp. plantations.

Journal of Environmental Management, 150: 149-156. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>

Contreras, L. (2020). Fruscol cultivo de fresa. Universidad Santo Tomas.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/27867/2020luiscontreras.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

Espinosa, J., y Molina, E., (1999) *Acidez y encalamiento de los suelos*. International Plant Nutricional Institute. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Casilla 17-17-980

<https://drive.google.com/file/d/1OHKUDDF9ggkLcCcRVpwJ9JYQFYMEYHj7/view>

FAO (2021). *Manejo de suelos problemáticos*. *Portal de suelos de la FAO*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

<http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/es/>

Fassbender, H. (1987). *Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 420 p. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica.

Fonseca, L. (2015). *Programa de apoyo agrícola y agroindustrial*. Vicepresidencia de fortalecimiento empresarial. Cámara de comercio de Bogotá.

[file:///C:/Users/DELL/Downloads/fresa%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/fresa%20(1).pdf)

Garbanzo, L., Molina, R. y Cabalceta, G. (2016). Efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el suelo y en el crecimiento de raíz bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 40(2): 33-52.

<https://drive.google.com/file/d/1jUjNpOWvsFhI4tnqSl60YY9ORQn8L5nc/view>

- Gardner WH. (1986). Water content. In: Klute. A. (Ed.); "Methods of soil analysis: part I-Physical and mineralogical methods". Agronomy. Second edition, number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America. Pp 493-544.
- Gee, G. W. y Bauder, J. W. (1986). Particle-size Analysis. In: Klute. A. (Ed.); "Methods of soil analysis: part I-Physical and mineralogical methods". Agronomy. Second edition, number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America. Pp 383-412.
- Gérard, F. (2016). Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils - A myth revisited. *Geoderma*, 262: 213-226.
- Halvin, J.L., Beaton, J.D. Tisdale, S.L. y Nelson, W.L. (1999). Soil fertility and fertilizer. An introduction to nutrient management. 497 p. 6th ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Herrera, E.M.C. y Pérez L.F.A. (2020). Effect of the liming on the soil chemical properties and the development of tomato crop in Sucre-Colombia. *J Appl Biotechnol Bioeng*. 7(2):87-93. DOI: 10.15406/jabb.2020.07.00220
- ICA (2011). Manejo fitosanitario del cultivo de papa. Línea Agrícolas. 35pp.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-197c55e7d3d0/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-nbsp;-.aspx>
- INTAGRI. (2017). *Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa*. Serie Hortalizas. Núm. 10. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
<https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>

- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 889 p. 2nd ed. Academic Press, London, Great Britain.
- McLean, E., y J. Brown. (1984). Crop response to lime in the Midwestern United States. p. 269 - 299. In Adams (ed). Soil acidity and liming. Soil Science Soc. of America., Madison, Wisconsin, USA.
- Myers, R. J. K., y De Pauw, E. (1995). Strategies for the management of soil acidity. Plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management, 729–741. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-0221-6_116
- Pezo, D. y García, J. (2018). Uso eficiente de fertilizantes en pasturas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. C.R: CATIE,2018.56p. ISBN 978-9977-57-696-1
<https://drive.google.com/file/d/1RAKcgZ6qOim1kR0VpJH1x5IkJkZbhxOx/view>
- Rodríguez. L; Falcón. M., y Ordoñez, Y., (2020) Caracterización de residuos sólidos para encalar y fertilizar portadores de calcio y nitrógeno. Centro de Ingeniería e Investigación Química CIIQ. Vía Blanca s/n entre Infanta y Palatino, Cerro, vol. 41, no. 2, e02, <file:///C:/Users/DELL/Documents/trabajo%20de%20grado/Rodríguez-Suárez%20et%20al.%202020.%20Caracterización%20de%20residuos%20sólidos%20para%20encalar%20y%20fertilizar%20portadores%20de%20calcio%20y%20nitrógeno.pdf>
- Román. M., y Hurtado. G., (2002). Guía técnica de cultivo de papa. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y forestal. 35pp.
<http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., y Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para el cacao en un entisol de la Amazonia

colombiana. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 18(3), 529-541

<http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n3/0122-8706-ccta-18-03-00529.pdf>

SIAC, (2012). Suelos en Colombia. Sistema de información ambiental de Colombia.

<http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>.

Silva. R., (2019). Equipo técnico territorial municipal. Alcaldía municipal de Pamplona.

<http://pamplona-nortedesantander.gov.co/>

Valbuena. O., Rodríguez. C., Suárez. J., (2017). Calidad de suelos bajo dos esquemas de

manejo en fincas cafeteras del sur de Colombia. Agron. Mesoam, ISSN

2215-3608 doi:10.15517/am.v28i1.21092

<file:///C:/Users/DELL/Documents/trabajo%20de%20grado/20170301-009.pdf>

Zapata, H. (2002). Química de la acidez del Suelo. Repositorio Universidad Nacional de

Colombia. Colecciones. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3280>.

Anexos

Procesamientos de las muestras de suelos y diseño de los tratamientos

Anexo 1. Toma de muestras de suelos.



Fuente: Autores

Anexo 2. Suelo cernido en malla de 2 mm



Fuente: Autores

Anexo 3. Suelos en laboratorio



Fuente: Autores

Anexo 4. Diseño experimental.



Fuente: Autores

Anexo 5. Características de enmiendas.



Fuente: Autores

Proceso de incubación en laboratorio

Anexo 6. Medición de pH y CE.



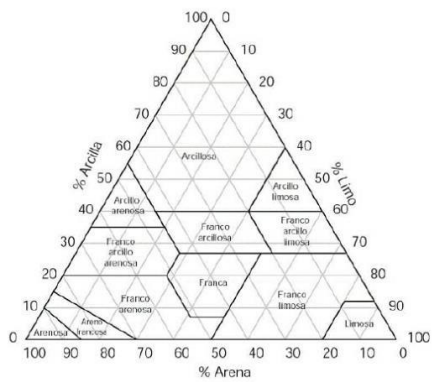
Fuente: Autores

Anexo 7. Titulación con hidróxido de sodio.



Fuente: Autores

Anexo 8. Triangulo textural de suelos.



Fuente: Autores

Anexo 9. Medición de Da por método del cilindro.



Fuente: Autores

Análisis fisicoquímicos de suelos. Textura

Anexo 10. Preparación del suelo.



Fuente: Autores

Anexo 11. Medición de T °C y lectura del hidrómetro.



Fuente: Autores

Anexo 12. Proceso para medir densidad aparente



Fuente: Autores

Anexo 13. Medición del % de humedad en el suelo.



Fuente: Autores

Anexo 14. Proceso para medir pH y CE en suelos.



Fuente: Autores

Anexo 15. Máquina de medición de pH y CE.



Fuente: Autores

Anexo 16. Proceso para la medición de acidez y Al^{+3} .



Fuente: Autores

Anexo 17. Medición del % de materia orgánica.



Fuente: Autores