

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE 2 ENMIENDAS DE NÚCLEO Ca/Mg EN UN
OXISOL PARA LA PRODUCCION DE MAÍZ (*Zea mays* L.) HÍBRIDO (DEKAL-B 7088)
®, EN LA FINCA HATO GRANDE EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ, META.**

ANGIE CAROLINA BAQUERO GUTIÉRREZ 111002802

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA

VILLAVICENCIO. META

2022

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE 2 ENMIENDAS DE NÚCLEO CA/MG EN UN
OXISOL PARA LA PRODUCCION DE MAÍZ (*Zea mays* L.) HÍBRIDO (DEKAL-B 7088)
®, EN LA FINCA HATO GRANDE EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ, META.**

**Proyecto de investigación presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Agrónomo**

ANGIE CAROLINA BAQUERO GUTIÉRREZ 111002802

DIRECTOR

Esp. cMs. EDGAR ALEJO

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA

VILLAVICENCIO. META

2022

El director de la tesis y los jurados examinadores no serán responsables por las ideas emitidas por los autores de la misma.

Artículo 24, Resolución 04 de 1994

Nota de aceptación

EDGAR ALEJO MARTINEZ

Ingeniero agrónomo

Esp. cMs en Producción Tropical Sostenible

Director

AMANDA SILVA

Ingeniero Agrónomo

PhD Suelos tropicales

Jurado

DAYRA GARCIA

Ingeniero Agrícola

Ms en Producción Tropical Sostenible

Jurado

Villavicencio, ____ / ____ / ____

PERSONAL DIRECTIVO

CHARLES ROBIN AROSA CARRERA

RECTOR

MONICA SILVA QUICENO

Vicerrector (a) académico

DEIVER GIOVANNY QUINTERO REYES

Secretario general

CRISTOBAL LUGO LÓPEZ

Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

SERGIO DAVID PARRA

Director de Escuela de Ciencias Agrícolas

ÁLVARO ÁLVAREZ SOCHA

Director del programa de Ingeniería Agronómica

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A Dios como guía espiritual en este proceso de formación, a mi madre, hermana, a mi esposo e hijas que con su gran amor y apoyo incondicional he podido forjar cada sueño y han sido mi inspiración para cumplirlos.

A la Universidad de los Llanos de la cual siempre me sentiré orgullosa, a los jurados y director de este proyecto y a los docentes.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Los Llanos, profesores, padres, amigos y familiares cuya paciencia, consejo y sabiduría fueron la luz que me guio este camino.

Al docente Edgar Alejo, por su disposición y por sus aportes en la construcción de este documento.

Mis más sinceros agradecimientos al Ingeniero Agrónomo Diego Trujillo, por su disposición, atención y apoyo durante la realización de este trabajo y por la oportunidad que nos brindó de conocer más del tema.

TABLA DE CONTENIDO

pág

AGRADECIMIENTOS.....	7
RESUMEN	18
ABSTRACT.....	20
1. INTRODUCCIÓN.....	22
2. OBJETIVOS	25
2.1. Objetivo general	25
2.2. Objetivos específicos.....	25
3. MARCO TEÓRICO.....	26
3.1. CONCEPTO DE Ph.....	26
3.2. EL pH del suelo	26
3.3. LA ACIDEZ DEL SUELO	27
3.4. REMOCIÓN DE NUTRIENTES	28
3.5. LIXIVIACIÓN DE BASES INTERCAMBIABLES	28
3.6. ALUMINIO INTERCAMBIABLE	28
3.7. CLASIFICACIÓN DE LA ACIDEZ.....	29
3.7.1. Acidez activa	29
3.7.2. Acidez intercambiable	30
3.7.3. Acidez no intercambiable	30
3.7.4. Acidez potencial	30
3.8. PODER RELATIVO DE NEUTRALIZACIÓN TOTAL (PRNT):	30
3.9. EFICIENCIA GRANULOMETRICA (EG)	31
3.10. EQUIVALENTE QUIMICO (EQ)	31

3.11.	REACCIÓN DE LA CAL EN EL SUELO	31
3.12.	LA CAPACIDAD TAMPON	32
3.13.	EFEECTO RESIDUAL DE LA CAL	32
3.14.	EL ENCALADO DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS	32
3.15.	MATERIAL VEGETAL UTILIZADO	33
3.16.	MATERIAL DE ENCALADO UTILIZADO	33
3.16.1.	Producto TÓTEM®	33
3.16.2.	Testigo núcleo Ca/Mg	34
3.17.	EL AZUFRE EN LA PLANTA.....	35
3.17.1.	Absorción en la planta	35
3.17.2.	Funciones en la planta.....	35
3.17.3.	Oxidación del azufre mineral en el suelo	36
3.18	EL CALCIO EN LA PLANTA	37
3.18.1	Absorción en la planta	38
3.18.2	Funciones en la planta.....	38
3.19	EL MAGNESIO EN LA PLANTA	38
3.19.1	Absorción en la planta	39
3.19.2	Funciones en la planta.....	39
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	40
4.1	LOCALIZACIÓN	40
4.2	MATERIALES.....	41
4.2.1	Herramientas y equipos	41
4.2.2	Materiales y Suministros	41
4.3	MÉTODOS	41
4.3.1	Diseño experimental	41
4.3.2	Caracterización de suelos.....	44
4.3.2.1	Análisis químico	44
4.3.2.2	Textura de suelo.....	45
4.3.3	Adecuación del suelo experimental	46
4.4.	VARIABLES DE EVALUACIÓN	46

4.4.1 Variables de desarrollo fenológico	46
4.4.1.1 Grosor de tallo.....	46
4.4.2 Variables de producción	46
4.4.2.1 Rendimiento de cosecha.....	47
4.4.2.2. Aforo de producción en metro lineal:.....	47
4.4.3. Variables de nutrición	47
4.4.3.1. Análisis Foliares por tratamiento:	47
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
5.1 RESULTADOS EN DESARROLLO DEL MAÍZ	48
Muestra 1	51
Muestra 2	53
Muestra 3	55
Muestra 4	57
5.2. RESULTADOS PRODUCCIÓN MAÍZ Kg/ha.....	60
5.2.1 Aforo de producción.....	60
5.2.1.1. Aforo en metro lineal	60
5.2.1.1. Rendimiento de cosecha.....	61
5.3. Resultado Nutricional Maíz.....	64
6. CONCLUSIONES	66
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
8. ANEXOS	72

LISTA DE TABLAS

Pág

Tabla 1. Composición química de TOTEM®	34
Tabla 2. Composición química de testigo núcleo Ca/Mg	34
Tabla 3. Tratamientos.....	43
Tabla 4. Requerimientos nutricionales del maíz	43
Tabla 5. Saturación de Al inicial y final de cada tratamiento	45
Tabla 6. Muestreo 1 para variable grosor de tallo	48
Tabla 7. Muestreo 2 para variable grosor de tallo.	49
Tabla 8. Muestreo 3 para variable grosor de tallo.	49
Tabla 9. Muestreo 4 para variable grosor de tallo	50
Tabla 10. Tabulación de la media de cada muestreo por Tratamiento.....	50
Tabla 11. Intervalo de confianza.....	51
Tabla 12. Suma de cuadrados.....	51
Tabla 13. Prueba de TUKEY	52
Tabla 14. Prueba de TUKEY (Grosor).....	52
Tabla 15. Intervalo de confianza.....	53
Tabla 16. Suma de cuadrados.....	53
Tabla 17. Prueba de TUKEY (Comparaciones múltiples).....	54

Tabla 18. Prueba de TUKEY (Tratamientos).....	54
Tabla 19. Intervalo de confianza.....	55
Tabla 20. Suma de cuadrados.....	55
Tabla 21. Prueba de TUKEY (Muestra 3).....	56
Tabla 22. Prueba de TUKEY (Tratamientos Muestra 3).....	56
Tabla 23. Intervalo de confianza.....	57
Tabla 24. Suma de cuadrados.....	57
Tabla 25. Prueba de TUKEY	58
Tabla 26. Prueba de TUKEY	58
Tabla 27. Aforo en metro lineal Totem 300kg/ha.....	61
Tabla 28. Aforo en metro lineal Totem 200kg/ha.....	61
Tabla 29. Aforo en metro Núcleo Ca/Mg 300kg/ha.....	61
Tabla 30. Rendimiento de cosecha	62
Tabla 31. Datos de precios por tratamiento.....	63
Tabla 32. Comparación de costos entre tratamientos	63

LISTA DE GRAFICAS

Pág

Gráfica 1. Propiedades físicas del suelo experimental.....	45
Gráfica 2. Muestreo 1 con Desviacion Estandar.	51
Gráfica 3. Muestreo 2 con Desviacion Estandar	53
Gráfica 4. Muestreo 3 con Desviacion Estandar.	55
Gráfica 5. Muestreo 4 con Desviacion Estandar	57
Gráfica 6. Variación estandar del desarrollo fenologico.	59
Gráfica 7. Rendimiento de producción por tratamiento	62
Gráfica 8. Análisis foliar finca Hato Grand	64

LISTA DE IMÁGENES

Pág

Imagen 1. Influencia del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes del suelo para las plantas.....	27
Imagen 2. Localización finca Hato Grande, Puerto López, Meta.....	40

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diseño general.....	42
Figura 2. Diseño de tratamientos.	42
Figura 3. Análisis de suelo, finca Hato grande, Puerto López, Meta.....	44

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Georefenciación y Siembra del Maíz.	72
Anexo 2. Aplicación de tratamiento en fase V1.....	72
Anexo 3. Calibración de voleadora para aplicación de tratamientos.....	73
Anexo 4. Delimitación con estacas a cada tratamiento.....	73
Anexo 5. Etapa Vegetativa transición en V3 y V4.	74
Anexo 6. <i>Etapa vegetativa en transición a etapa reproductiva (panoja).</i>	74
Anexo 7. Toma de datos quincenales, variable grosor de tallo.	75
Anexo 8. Toma de datos quincenal, variable grosor de tallo.....	75
Anexo 9. Toma de datos quincenal, variable grosor de tallo.....	76
Anexo 10. Toma de datos quincenal, variable grosor de tallo.....	76
Anexo 11. Maiz en fase reproductiva.	77
Anexo 12. Fase Reproductiva R2.	77
Anexo 13. Recolección de hojas por tratamiento para análisis foliar.	78
Anexo 14. Toma de muestra foliar para laboratorio, análisis foliar.....	78
Anexo 15. Traslado de grano a volqueta para medición en balanza.	79
Anexo 16. Cosecha.....	79

RESUMEN

El propósito de este proyecto de investigación fue evaluar la dosificación de encalado del producto Tótem® (núcleo calcio magnesio) en suelos ácidos de la altillanura colombiana en comparación con un producto comercial de características similares con diferentes fuentes de calcio y magnesio, se estableció un experimento agrícola en la finca Hato Grande, ubicada en Altillanura, en el municipio de Puerto Gaitán, Meta, Colombia. En un lote comercial de Maíz DEKAL-B 7088 en un suelo oxisol, con pH de 4,59, donde se recolectaron submuestras de suelo para un análisis físico-químico, se realizó una georreferenciación de su ubicación y se determinó un área de 30.000 m² dividido en 3 tratamientos, la dosis con base en la eficiencia del producto en la producción de maíz, para muestreo de variables de desarrollo, producción y nutrición.

Este suelo había sido encalado con 4 Ton de Dolomita con dos años de antelación, y en el momento de la adecuación se realizó una labranza cero y posterior se sembró sobre restos de la cosecha anterior.

Se evaluaron dos dosis de TOTEM por ha: 200 Kg/ha y 300 Kg/ha, y se realizó comparación frente a una dosis de un Testigo núcleo Ca/Mg por 300 kg/ha que tenía como materia prima carbonatos de calcio y magnesio atacados con ácido sulfúrico de manera parcial; La comparación anterior se realizó con el objetivo de establecer la incidencia de la aplicación en la producción de grano y determinar si existía una diferencia frente al Testigo núcleo Ca/Mg. La aplicación de los tratamientos se realizó en estado fenológico del maíz V1, posterior a ello se realizó la primera medida de la variable de grosor de tallo en estado fenológico V3, esta actividad se realizó con periodicidad quincenal hasta la cosecha. El manejo nutricional posterior tuvo como base el uso de 25-4-24 con el fin de cumplir requerimientos del cultivo, y se realizó de manera uniforme en toda el área. Para el parámetro de producción se realizó un aforo lineal aleatoriamente georreferenciados donde se muestrearon por cada tratamiento en 3 repeticiones

cada uno de 5 plantas, para un total de 15 plantas por tratamiento, por lo cual se evaluó un estimado de producción, como anexo se realizó un análisis foliar por tratamiento para evaluar la concentración de nutrientes en estado fenológico reproductivo R2.

ABSTRACT

The purpose of this research project was to evaluate the liming dosage of the Tótem® product (calcium magnesium core) in acidic soils of the Colombian highlands in comparison with a commercial product with similar characteristics with different sources of calcium and magnesium, an experiment was established farm in the Hato Grande farm, located in Altillanura, in the municipality of Puerto López, Meta, Colombia. In a commercial lot of DEKAL-B 7088 corn in an oxisol soil, with a pH of 4.59, where soil subsamples were collected for a physical-chemical analysis, a georeferencing of its location was carried out and an area of 30,000 m² was determined. divided into 3 treatments, the dose based on the efficiency of the product in the production of corn, for sampling of development, production and nutrition variables.

This soil had been whitewashed with 4 Tons of Dolomite two years in advance, and at the time of adaptation, zero tillage was carried out and later it was sown on remains of the previous harvest.

Two doses of TOTEM per ha were evaluated: 200 Kg/ha and 300 Kg/ha, and a comparison was made against a dose of a Core Witness Ca/Mg per 300 kg/ha that had calcium and magnesium carbonates attacked as raw material. with sulfuric acid partially; The previous comparison was carried out with the objective of establishing the incidence of the application in grain production and determining if there was a difference compared to the Core Witness Ca/Mg. The application of the treatments was carried out in the phenological state of the maize V1, after which the first measurement of the stem thickness variable in the phenological state V3 was carried out, this activity was carried out every two weeks until harvest. The subsequent nutritional management was based on the use of 25-4-24 in order to meet crop requirements, and was carried out uniformly throughout the area. For the production parameter, a randomly georeferenced linear gauging was carried out where they were sampled for each treatment in 3 repetitions, each of 5

plants, for a total of 15 plants per treatment, for which an estimate of production was evaluated, as an annex. a foliar analysis per treatment to evaluate the concentration of nutrients in reproductive phenological state R2.

1. INTRODUCCIÓN

La Altillanura Colombiana se postula como la despensa alimentaria de Colombia del siglo XXI, es por esto que la construcción de manejos agronómicos eficientes para cultivos de interés comercial cobra vital importancia en el desarrollo agrícola del país y el mundo. Uno de los mayores retos a enfrentar en esta zona, es el manejo de suelos Oxisoles, los cuales se caracterizan por presentar estructuras muy frágiles, la casi inexistente materia orgánica y textura mayoritariamente arenosa. Estas propiedades condicionan la adecuación de suelos y la aplicación de correctivos de tal forma que la intervención del suelo sea mínima a fin de conservar la porosidad y estructura. El uso de fertilizantes granulados que además de nutrir contribuyan al control de la acidez presente en la Altillanura se convierte en una alternativa costo efectiva para este tipo de suelos. Frente a este panorama, este trabajo procura orientar de forma acertada las prácticas y los insumos más adecuados para el acondicionamiento de suelos en la Altillanura en el municipio de Puerto López para la siembra de maíz híbrido.

El éxito en la producción agrícola es determinado por la conjunción de prácticas que se complementan entre sí: genotipos vegetales, ecofisiología, manejos sanitarios, labores culturales, fertilización, adecuación de suelos, son algunos de los elementos que se deben abordar al establecer un proyecto productivo exitoso.

Existen cientos de tipos de suelos de América del Sur, los cuales han sido formados con la influencia de diversos materiales parentales y condiciones ambientales.

En su gran mayoría los suelos predominantes en el trópico son viejos (Oxisoles y Ultisoles), conformados por arcillas 1:1 con predominancia caolinítica, compuestas por aluminio – silicatos. La estructura formada por las láminas de aluminio y silicato están unidas tan estrechamente que ni siquiera alcanzan a hidratarse en su interior, por lo tanto, sus cargas variables se

encuentran sólo en la parte externa, lo que se traduce en una baja capacidad de intercambio de iones (Minerales).

Estos procesos han conducido a la formación de suelos tropicales con altas concentraciones de cationes de carácter ácido: H^+ y Al^{3+} .

Uno de los parámetros más utilizados para determinar la acidez de un suelo es el análisis de la actividad del H^+ en este, dicha caracterización se conoce como pH del suelo.

El potencial de hidrógeno más conocido como pH se basa en una medida logarítmica entre la actividad de los iones H^+ y OH^- en el suelo, se expresa logarítmicamente porque los ácidos se disocian poco y las bajas concentraciones en soluciones acuosas no permiten ser expresadas numéricamente como molaridad. Por lo tanto, un suelo pH 7 (Neutro) indica que la cantidad de H^+ es igual a la cantidad de OH^- en actividad en el suelo; por su parte, valores menores a 7 son considerados ácidos y por encima de 7 son considerados básicos.

La expresión logarítmica del pH en si expresa incremento o disminución de 10 veces por cada punto de pH, es decir, un suelo pH 6 es 10 veces más ácido que uno de pH 7. Dichos valores son utilizados para interpretar, por ejemplo, la eficiencia de los fertilizantes que serán aplicados en las diferentes etapas del cultivo para así elegir la fuente apropiada.

El lavado de bases es otro de los principales generadores de acidez en los suelos. Debido a las precipitaciones, los cationes presentes en la solución del suelo son lixiviados y se intercambian por cationes de carácter ácido como el Al^{3+} .

Asimismo, es reconocido que el Al^{3+} empieza a cambiar de forma al incrementarse el pH; cuando se supera el pH 5,3 se inicia la formación de $Al(OH)_3$ (Fig. 1), molécula que se precipita y elimina temporalmente al Al^{3+} de la solución del suelo. Dicho Aluminio restringe el crecimiento radicular, disminuyendo así la absorción de nutrientes, agua y oxígeno indispensables para que planta pueda expresar su potencial genético.

Para contrarrestar la acidez del suelo se aplican sales básicas, conocidas como enmiendas o cales. Colombia cuenta numerosos yacimientos de materiales encalantes entre los que destacan los ubicados en los departamentos del Huila, Boyacá, Antioquia, Meta, entre otros. Estos yacimientos cuentan con variedad de fuentes utilizadas en la agricultura como enmiendas agrícolas; es posible encontrar carbonatos, silicatos, rocas fosfóricas, yeso que, a través de procesos industriales, son molidos finamente para su posterior aplicación. Además de estas fuentes primarias existen procesos de transformación más avanzados que incluyen la calcinación y la acidulación, los cuales incrementan la capacidad de reaccionar más rápidamente cuando son aplicados al suelo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la aplicación de 2 enmiendas granuladas de núcleo Ca/Mg en un Oxisol para la producción de maíz (*Zea mays* L.) híbrido (DEKAL-B 7088)®, en la finca Hato Grande en el municipio de Puerto López, Meta.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físico-químicas del suelo experimental en la finca Hato grande en el Municipio de Puerto López y establecer los diferentes tratamientos en el área experimental.
- Cuantificar los indicadores de desarrollo, rendimiento en el cultivo de maíz desde V3 hasta producción.
- Determinar el rendimiento de la producción de maíz (*Zea mays* L.) con base en la aplicación de las enmiendas edáficas en la finca Hato Grande en el municipio de Puerto López, Meta.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. CONCEPTO DE Ph

De acuerdo con Myers (2010) este concepto fue propuesto por Salessky (1904), pero no es hasta 1909 que el bioquímico holandés Soren Peter Lauritz Sorensen lo divulga de manera más conocida. Éste lo expresó en términos de la concentración de iones de hidrógeno $[H^+]$ de una solución acuosa y lo denominó pH (Myers, 2010). La fórmula es:

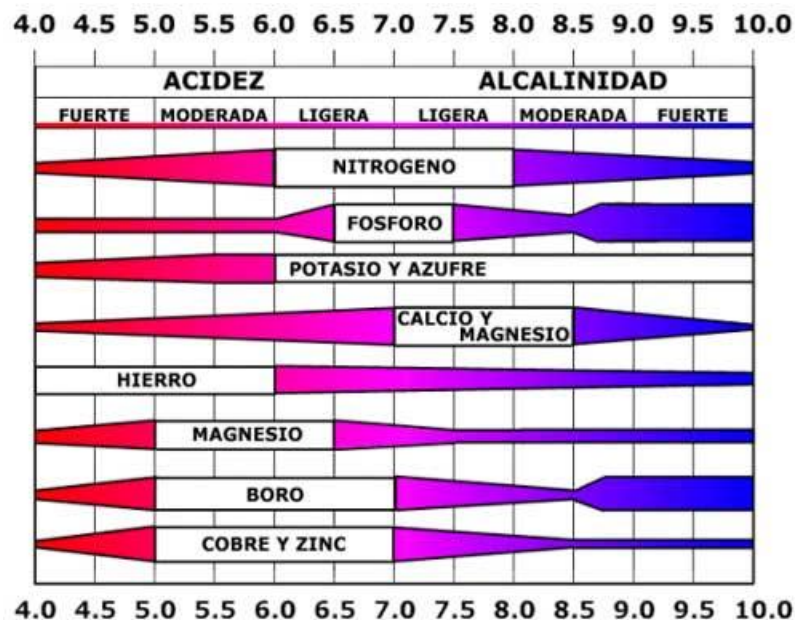
$$pH = -\text{Log}[H^+]$$

Dado que el valor de iones hidronio son muy pequeños el resultado sería negativo, por lo que al multiplicarse con el logaritmo negativo dará un número positivo, además, al igual que la constante de equilibrio, el pH es una cantidad adimensional (Chang & Goldsby, 2013).

3.2. EL pH del suelo

Es una propiedad química muy importante ya que indica que tan ácido o alcalino es la solución del suelo, el pH se basa en la constante de equilibrio de disociación del agua que es 10^{-14} . Usualmente los suelos tienen pH de 4.0 a 8.0. Los suelos ácidos es una condición común de las zonas tropicales húmedas, estos se acidifican por varios factores como la meteorización de minerales aluminosilicatos y su consecuente liberación de aluminio (Al^{3+}) a la solución del suelo (Osorio N. W., 2012). Esta propiedad influye en la asimilación de diversos nutrientes para las plantas, es por esto que las mejores condiciones de pH están entre 6 y 7, como se aprecia en la imagen 1 (Giné & Mariscal, 2002).

Imagen 1. Influencia del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes del suelo para las plantas.



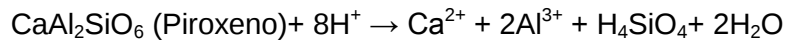
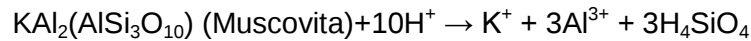
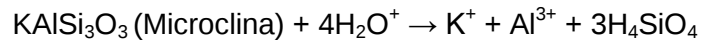
Fuente: (Giné & Mariscal, 2002)

3.3. LA ACIDEZ DEL SUELO

La acidez en suelo se determina midiendo la actividad del H^+ en la solución del suelo y se expresa bajo el parámetro denominado potencial hidrogeno (pH) (Espinoza & Molina, 1999). Las fuentes de acides del suelo están determinadas por dos grandes grupos: grupos de ácidos de los minerales arcillosos, grupos ácidos de la materia orgánica y ácidos solubles (Lora, 1998). Existen otras dos formas de medir la acidez de suelo; la capacidad de neutralizante de acidez y la capacidad amortiguadora, sin embargo, el conocimiento del pH sirve para entender los procesos químicos, la génesis del suelo, la fertilidad y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Zapata, 2002).

Existen elementos como el Manganese (Mn^{2+}) y el Aluminio (Al^{3+}) presentes en la solución del suelo que alcanzan niveles tóxicos para las plantas, al tiempo que alteran las poblaciones y las actividades de microorganismos que participan en la transformación del nitrógeno, el azufre y la

mineralización de la materia orgánica (Sadeghian, 2016). Para ilustrarlo de la mejor manera se presentan las siguientes reacciones:



3.4. REMOCIÓN DE NUTRIENTES

Este fenómeno ocurre debido a la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas, como las bases intercambiables (K, Ca, Mg) lo que conlleva al desarrollo de una mayor acidez del suelo (Espinoza j. , 2001).

3.5. LIXIVIACIÓN DE BASES INTERCAMBIABLES

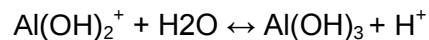
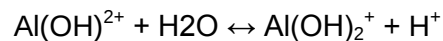
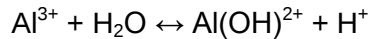
En zonas con altas precipitaciones existe una pérdida de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) de la solución del suelo, estos son reemplazados por H^+ y Al^{3+} que son reemplazados con el tiempo, lo cual genera que la solución del suelo se acidifique (Osorio N. W., 2012).

3.6. ALUMINIO INTERCAMBIABLE

Este elemento es considerado no esencial y toxico para las plantas, en pequeñas dosis es un catalizador en la fotosíntesis, pero en altas concentraciones hace flocular las proteínas, la perdida de calcio y potasio en las células dañadas de las plantas. La hidrólisis del aluminio produce iones H_3O^+ , generando un efecto negativo en el crecimiento de las plantas, en la

división celular de las raíces, el desarrollo de las plantas y su rendimiento (Osorno, 2012).

Al liberarse el aluminio éste genera una hidrólisis debido a que atrapa iones OH^- del agua, dejando libre los protones H^+ en la solución del suelo, como se muestra a continuación, siendo capaz de atrapar tres iones de OH^- y liberando tres protones H^+ , acidificándolo aún más (Osorio N. W., 2012).



Después de liberarse el aluminio Al^{3+} , este queda retenido en las arcillas y los óxidos del suelo. Este elemento pasa hasta la solución del suelo por medio del intercambio catiónico, es por esto que recibe el nombre de Aluminio intercambiable, lo que resulta en una relación inversa en entre el valor del pH y este elemento presente en el suelo (Osorio N. W., 2012).

3.7. CLASIFICACIÓN DE LA ACIDEZ

Esta clasificación de la acidez está determinada por varias interacciones presente en el suelo. A continuación, se presenta una conceptualización para cada caso.

3.7.1. Acidez activa

Es la acidez que se evalúa cuando se mide el pH del suelo; es la que está determinando las condiciones de acidez actual del suelo e involucra los iones H_3O^+ disociados en la solución de éste (Jaramillo, 2002).

3.7.2. Acidez intercambiable

También conocida como CICE (Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva); se refiere a la CIC (capacidad de intercambio catiónico) que posee el suelo a un pH determinado (Sadeghian, 2016).

3.7.3. Acidez no intercambiable

La acidez no intercambiable representa la cantidad de iones de hidrógeno adheridos a los coloides del suelo (dos Santos, 2020).

3.7.4. Acidez potencial

La acidez potencial caracteriza el poder amortiguador de la acidez del suelo y su estimación precisa es esencial para estimar la capacidad de intercambio catiónico a pH 7.0 (CTC) (Teixeira, Donagemma, Fontana, & Teixeira, 2017)

3.8. PODER RELATIVO DE NEUTRALIZACIÓN TOTAL (PRNT):

El cálculo PRNT mide la eficiencia de las calizas, combinando el poder de neutralización total con la eficiencia relativa de partículas de diferentes tamaños (VAN RAIJ, 1977). Esta es expresada por su equivalente químico (EQ), capaz de reaccionar en 90 días (Chávez, 1993). La fórmula es la siguiente:

$$PRNT = \frac{EG \times EQ}{100}$$

EG: Eficiencia granulométrica

EQ: Equivalente químico

3.9. EFICIENCIA GRANULOMETRICA (EG)

Es el porcentaje de efectividad de la neutralización del material asociado al tamaño de la partícula. Ésta se calcula sumando los resultados de multiplicar cada porcentaje retenido en cada tamiz por la eficiencia relativa que corresponde a cada tamaño de la partícula (Carranza, 2005).

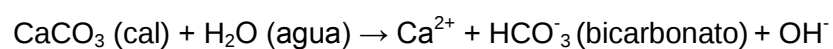
3.10. EQUIVALENTE QUIMICO (EQ)

Es la capacidad del material para neutralizar la acidez, comparado con el poder de neutralización del carbonato de calcio (CaCO_3) químicamente puro, al que se le asigna el valor de 100, éste se calcula de la siguiente manera:

$$EQ \text{ Ca(OH)}_2 = \% \text{ de CaO} \times 1,79 + \% \text{ de MgO} \times 2,48 \text{ (Carranza, 2005)}$$

3.11. REACCIÓN DE LA CAL EN EL SUELO

Al aplicar un material de encalado al suelo este genera una hidrólisis (atrapando H^+ del agua), dejando libre iones OH^- . Esto neutraliza iones de Al, a través de tres reacciones: *disolución de la cal e hidrólisis, intercambio de Ca x Al y neutralización* (Osorio, 2012). Durante la incubación de la cal, este produce reacciones que se describen a continuación:



Al hidrolizarse el carbonato de calcio en presencia de agua y una temperatura templada, se disocian los iones de calcio, el ion carbonato y los iones hidroxilos.

3.12. LA CAPACIDAD TAMPON

Es la capacidad a la resistencia al cambio. Es una medida de la resistencia del suelo a los cambios de pH, con lo que la cantidad de cal agrícola que debe aplicar para ajustar el pH a un nivel deseado depende de la textura, materia orgánica, CIC y el origen del suelo (Lazcano, 2003).

3.13. EFECTO RESIDUAL DE LA CAL

Esto depende de la rapidez en la reacción de la cal en el suelo, además, de factores que intervienen como: Las condiciones del suelo y clima, naturaleza química del material, el tamaño de la partícula, el cultivo y su intensidad (Espinoza & Molina, 1999).

3.14. EL ENCALADO DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Cuando se realiza una buena actividad de encalamiento se obtienen muchos beneficios para los cultivos, los cuales aumentan el pH del suelo, disminuyen o eliminan la toxicidad del aluminio, hierro y manganeso, aumentan la disponibilidad de fosforo, aumenta el contenido de calcio y magnesio, incrementa el aprovechamiento de los nutrientes, reduce la actividad de hongos patógenos del suelo, mejora la actividad microbiana, mejora la estructura del suelo y mejora el rendimiento de los cultivos (Fassbender, 1986) (Kemmitt *et al.*, 2006) (Alvarado &

Fallas, 2004) (Xue *et al.*, 2010).

3.15. MATERIAL VEGETAL UTILIZADO

El **Maíz** (*Zea mays* L.) **Híbrido DEKAL-B 7088®** de la empresa Monsanto® es el material vegetal a utilizar. Éste presenta fortalezas como buenos tallos y raíces, excelente defensividad a enfermedades foliares, buena cobertura de mazorca y calidad de grano, recomendado para ensilar y excelente trilla. Su densidad de siembra esta entre 70.000 y 73500 plantas por hectárea, con una distancia entre surcos de 80 - 90cm y entre sitio de 16 a 17 cm. Su ciclo productivo es: días a floración, 55-60 y días a cosecha 140-150. Presenta una altura promedio de 2,89 m y altura de la mazorca entre 1,28m y 1,34m, las zonas delimitadas son Orinoquía, caribe seco, caribe húmedo, área cafetera, valle geográfico del río cauca, valle geográfico del río magdalena (DEKALB, 2021).

3.16. MATERIAL DE ENCALADO UTILIZADO

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó los productos:

3.16.1. Producto TÓTEM®

Tótem es un producto de la empresa QUIMINT® Química y minería integrada S.A., que está compuesto por un núcleo de óxidos calcio-magnesio granulado, que tiene la capacidad de neutralizar la acidez del suelo rápidamente. El aporte de nutrientes es altamente reactivo y asimilable, maximizando el aprovechamiento por parte de la planta y garantizando una alta eficiencia agronómica. Es un producto granulado, el 95% de su granulometría está entre 2mm y 4mm. Su composición química se presenta en la (Tabla 1) (QUIMINT, 2019).

Tabla 1. Composición química de TOTEM®

Composición mínima garantizada	Porcentaje de composición
CaO	36%
MgO	16%
S	8%
SiO ₂	3%
P ₂ O ₅ Total	3%
P ₂ O ₅ de lenta asimilación	3%

Fuente: Tomado de (QUIMINT, 2019)

3.16.2. Testigo núcleo Ca/Mg

Fertilizante a base de carbonato de Calcio y Magnesio parcialmente acidulado, con una fuente del 3 % de roca fosfórica.

Tabla 2. Composición química de testigo núcleo Ca/Mg

Composición mínima garantizada	Porcentaje de composición
CaO	25%
MgO	13%
S	8%
P ₂ O ₅ Total	3%
P ₂ O ₅ de lenta asimilación	3%

Fuente: Autor

3.17. EL AZUFRE EN LA PLANTA

3.17.1. Absorción en la planta

El azufre es absorbido por la planta casi exclusivamente en forma de SO_4 , a través de su sistema radicular. En pequeñas cantidades también puede ser absorbido del suelo como SO_3 y de la atmósfera como dióxido de azufre, por las hojas, a través de los estomas.

La mayor parte del SO_4 absorbido se reduce en la planta a compuestos sulfhídricos ($-\text{SH}$), y así, en este estado se integra en los compuestos orgánicos. Solo una pequeña parte se incorpora sin ningún cambio redox, y como tal ion inorgánico contribuye a la regulación osmótica celular. El azufre reducido puede ser reoxidado a SO_4 y permanecer en la planta como reserva. Bajo esta forma se halla distribuido con bastante regularidad en todas las partes vitales: raíces, tallos, hojas, etc.

La cantidad de azufre existente en la planta varía dentro de límites relativamente amplios, y pueden situarse entre 0.1 y 1% de S en peso seco. Estos valores dependen no solo del contenido en el suelo, sino también de las necesidades fisiológicas propias de cada especie. Las menores cantidades se suelen encontrar en las gramíneas, y las más altas en leguminosas y crucíferas.

3.17.2. Funciones en la planta

Los compuestos vegetales de los que el azufre forma parte son muy diversos, tanto en lo que respecta al tipo como a su complejidad, y en ellos podemos incluir desde pequeñas a medianas moléculas hasta proteínas y otros compuestos.

Son muchos e importantes los procesos bioquímicos en los que participan los compuestos orgánicos con azufre. Esta participación, ya puesta de manifiesto en la biosíntesis de lípidos, clorofila, carotenos y ácidos orgánicos, puede complementarse incluyendo dos procesos

también esenciales en el metabolismo vegetal: la biosíntesis de los aminoácidos sulfurados cisteína, cistina y metionina, y la formación del acetil coenzima A, eslabón básico de conexión entre la glucólisis y el ciclo de Krebs.

3.17.3. Oxidación del azufre mineral en el suelo

El azufre orgánico mineralizado por los microorganismos del suelo a la forma SH_2 es utilizado por un conjunto de bacterias, en su mayoría autótrofas específicas, que en diversas etapas lo transforman finalmente a la forma sulfato, asimilable por la planta. Estas transformaciones son mejor conocidas y pueden ser algo diferentes, según que el proceso oxidante parta de la forma reducida SH_2 o de la parcialmente oxidada S. En general, en el suelo no parece que el proceso de oxidación del SH_2 a azufre elemental sea de naturaleza biológica, sino más bien de naturaleza química, por acción del oxígeno atmosférico. Sin embargo, ciertas bacterias específicas, autótrofas, las *Thiobacterias*, pueden participar en cierta medida en este primer paso oxidativo. Por el contrario, el azufre elemental que se origina en esta primera oxidación, junto al que puede existir en el suelo, y el que se adiciona al mismo en las diversas prácticas de cultivo, tratamientos fitosanitarios, o por acción de la lluvia, es utilizado por un grupo de bacterias del género *Thiobacillus*, en especial *T. thiooxidans*, que en diversas etapas la transformaban finalmente a la forma de sulfatos. Estos organismos son aerobios obligados, y son los representantes típicos del suelo que aseguran la oxidación del azufre elemental. De forma similar a las bacterias nitrificantes, obtienen su energía por la oxidación de un material inorgánico, y su carbono del dióxido de carbono. De su actuación se deduce también aquí una fase de sulfooxidación similar a la nitrificación en el ciclo de nitrógeno. El mecanismo químico de todo el proceso de oxidación puede expresarse de forma resumida de la siguiente forma:

El *T. thiooxidans* es capaz de soportar valores altos de acidez. Su presencia se ha señalado en muchos suelos con pH entre 2.2 y 2.4.

Aunque en menor proporción, diversos heterótrofos no especializados, bacterias, actinomicetos y hongos del suelo, son también capaces de efectuar la oxidación del azufre.

Determinados factores pueden limitar la acción de estos organismos en el proceso de sulfooxidación en el suelo. En este aspecto debe considerarse la temperatura, humedad y estado de finura del azufre presente o añadido.

Un aumento de la temperatura incrementa generalmente el porcentaje de oxidación. Se ha comprobado que cuando la temperatura del suelo supera los 25°C, la oxidación empieza a ser amplia, y alcanza su máximo entre 30 y 35°C. esto es explicable si se tiene en cuenta que casi todas las reacciones biológicas se favorecen al aumentar la temperatura.

La oxidación del azufre disminuye notablemente en suelos excesivamente húmedos. En ellos, el oxígeno suelo escasear, y los organismos oxidantes, al ser aeróbicos típicos, quedan altamente inhibidos. Los datos experimentales disponibles indican que el proceso ex máximo cuando el nivel de humedad del suelo corresponde al de su capacidad de campo.

El tamaño de las partículas del azufre que puede aplicarse al suelo influye asimismo en la rapidez del proceso oxidativo. Cuanto mayor sea el estado de división, mayor superficie presentara al ataque de los microorganismos, y ellos trae como consecuencia una más rápida transformación a la forma sulfato.

3.18 EL CALCIO EN LA PLANTA

Cada organismo es un sistema abierto conectado con su medio ambiente influenciado por éste en un intercambio permanente de materia y energía. Las plantas aumentan su biomasa usando dióxido de carbono del aire, donde existen a su vez mas de 100 elementos químicos en la naturaleza, de los cuales solo 17 se consideran esenciales los cuales los dividimos en macronutrientes y micronutrientes, dentro del primero encontramos al calcio y de acuerdo a su función lo clasificamos según su función fisiológica encontramos en el grupo 3 el calcio (Ca)

como nutriente que permanece en su forma iónica, este se moviliza del medio a la planta por flujo de masa y es considerado un elemento inmóvil. (Marshner, 1995) como se citó en (Malgarejo, 2010, pág. 81)

3.18.1 Absorción en la planta

Según Foth y Ellis (1997), se mueve a través del flujo de masa y consiste en el ingreso de los nutrientes en forma iónica, disueltos en el agua, debido al potencial hídrico generado por la transpiración de la planta y es absorbido en forma de Ca^{2+} . Por lo cual se mueve a través del xilema.

3.18.2 Funciones en la planta

Hace parte de las paredes celulares, tiene una función importante en la estructura y permeabilidad de las membranas, participa en la división y elongación celular. Es un activador de las enzimas amilasa y ATPasa. (Littke & Zabowaki, 2007)

3.19 EL MAGNESIO EN LA PLANTA

El magnesio para las plantas, el verde de las hojas a partir de la clorofila, por consiguiente, es fundamental en el proceso de fotosíntesis. A la misma vez, el magnesio interviene de manera directa en el intercambio de energía en la planta.

3.19.1 Absorción en la planta

En las plantas, el magnesio se mueve por toda la planta. Si se presenta una deficiencia de magnesio, el segmento verde de las hojas viejas se pierde mientras el elemento se transporta hacia las partes nuevas de la planta. Esta destrucción se observa en forma de puntos de color marrón oxidado y/o puntos de color amarillo difuso o nublado entre los nudos. El magnesio es difícil de extraer de las hojas más viejas al estar aparentemente demasiado integrado en la estructura orgánica de la planta. Una pequeña carencia de magnesio difícilmente afecta a la etapa reproductiva este es absorbido en forma de Mg^{2+} .

3.19.2 Funciones en la planta

Es el componente principal de la clorofila. Combinado con ATP o ADP actúa como activador de enzimas que usan dos sustratos (Marshner, 1995)

Según (Cakmak & Yazici, s.f.) lo define de la siguiente manera:

“El Mg tiene varias funciones clave en las plantas, entre ellos podemos citar,

- 1. Fotofosforilización (Formación de ATP en los cloroplastos, adenosin Trifosfato, principal reserva de energía en las plantas)*
- 2. Fijación de Bióxido de Carbono CO₂ durante la fotosíntesis*
- 3. Síntesis de proteínas.*
- 4. Formación de clorofila.*
- 5. Transporte del floema (savia elaborada),*
- 6. Particionamiento y utilización de fotoasimilados*
- 7. Foto-oxidación en las hojas.”*

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LOCALIZACIÓN

El sitio escogido para llevar a cabo en la finca Hato Grande, vereda el toro, en el municipio de Puerto López, departamento del Meta, a los s 4° 13' 37.0" de latitud Norte y 72° 28' 42.0" de longitud Oeste, a una altura de 180 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 27°C y máxima entre 30-35°C y mínima de 22°C. Con brillo solar de 4 horas diarias en época lluviosa y de 6-7 horas diarias en época de sequía. Una humedad relativa entre 70-85% promedio anual y una pluviosidad anual de 2133 mm (IDEAM, 2012).

Imagen 2. Localización finca Hato Grande, Puerto López, Meta.



Fuente: (Google earth)

4.2 MATERIALES

4.2.1 Herramientas y equipos

- Sembradora
- Cosechadora
- Voleadora
- Calibrador
- Navaja

4.2.2 Materiales y Suministros

- Bolsas de manila
- 10 bultos de Totem
- 3 bultos de enmienda comercial de núcleo Ca/Mg

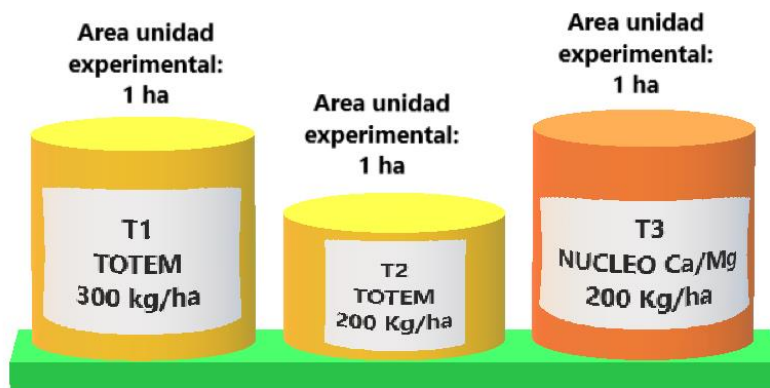
4.3 MÉTODOS

4.3.1 Diseño experimental

Se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres replicas por cada tratamiento. El área de cada unidad experimental fue de 10.000 m², con un área experimental total de 30.000 m². La marcación se realizó con estacas y cuerdas para delimitar y diferenciar cada tratamiento, las evaluaciones se llevaron a cabo en las mismas plantas durante todo el ciclo del cultivo. A los datos obtenidos se les realizó un ANOVA con comparación de medias por el test

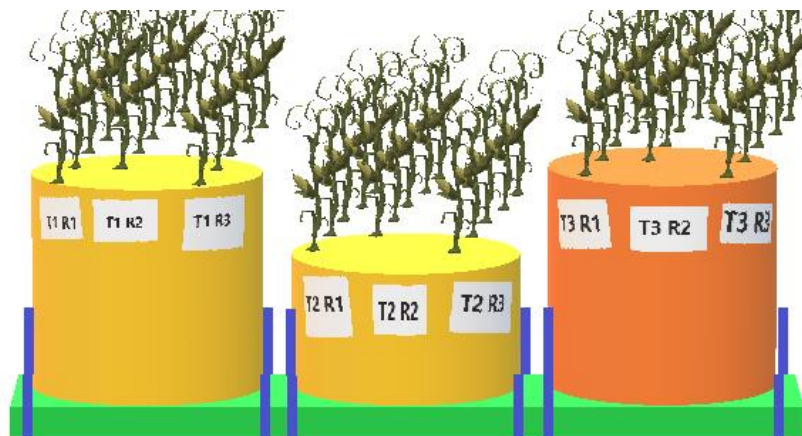
de Tukey con un grado de significancia de ($\alpha=0.05$) en el software estadístico SPSS® versión estudiantil para ver si existen diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 1. Diseño general.



Fuente: Autor

Figura 2. Diseño de tratamientos.



Fuente: Autor

Tabla 3. Tratamientos.

PARAMETRO	PRODUCTO	
FUENTES	TOTEM	NUCLEO Ca/Mg
calcio como CaO:	36%	25%
Magnesio como MgO:	16%	13%
Azufre como SO ₄	8%	8%
Fosforo asimilable como P ₂ O ₅ :	3%	3%
Silicio	3%	0%
GRANULOMETRIA	95%	95%

Fuente: Autor

Tabla 4. Requerimientos nutricionales del maíz

				
RENDIMIENTO			HUMEDAD DE GRANO	
(kg ha ⁻¹)			(%)	
 8000			14,5	
NUTRIENTE	REQUERIMIENTO	IC	ABSORCIÓN	EXTRACCIÓN
-	(kg t ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
N	22	0,68	150	102
P	4	0,76	27	21
K	19	0,21	130	27
Ca	3	0,07	21	1,4
Mg	3	0,53	21	11
S	4	0,35	27	10
B	0,02	0,25	0,14	0,03
Cl	0,444	0,06	3,04	0,18
Cu	0,013	0,29	0,09	0,03
Fe	0,125	0,36	0,86	0,31
Mn	0,189	0,17	1,29	0,22
Mo	0,001	0,63	0,01	0,00
Zn	0,053	0,5	0,36	0,18

Fuente: Cálculo de Requerimientos Nutricionales - Versión 2016

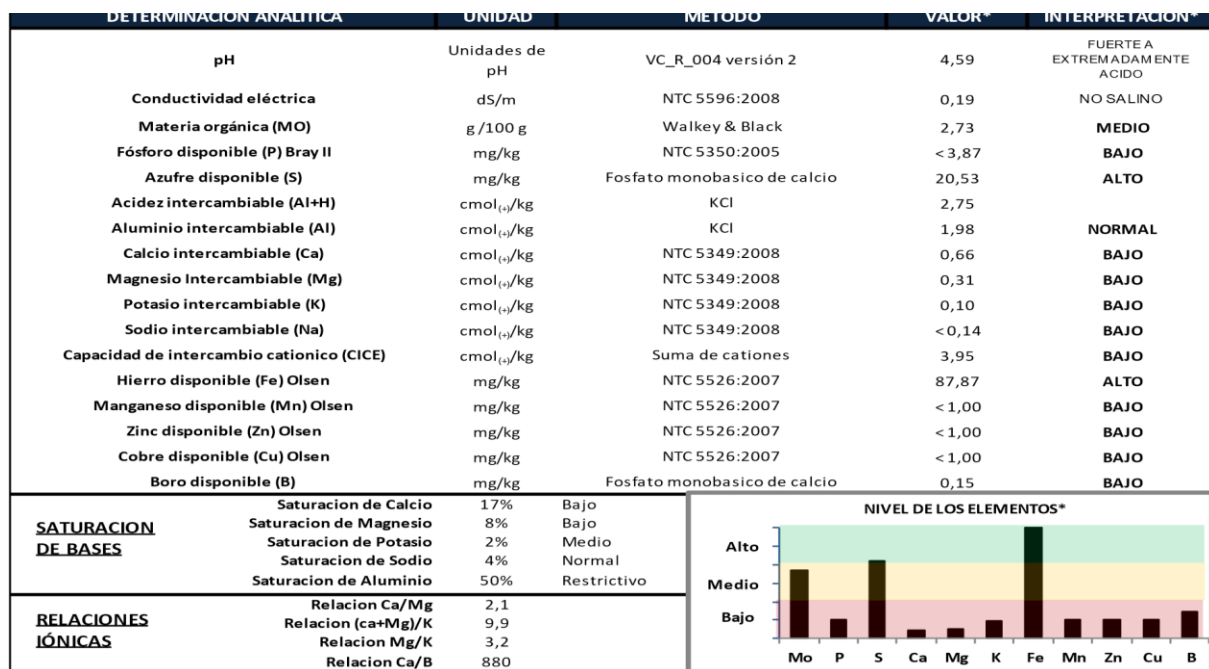
4.3.2 Caracterización de suelos

Se recolecto muestra representativa del suelo experimental a través de 10 submuestras, las cuales constituirán su estado inicial y serán la base para determinar el efecto del material de encalado sobre las propiedades del suelo con relación a las dosis a utilizar. A la muestra de suelo se le realizó un análisis físico-químico completo.

4.3.2.1 Análisis químico

Una vez enviada a laboratorio estos procedieron a testear la muestra, los métodos de extracción utilizados para fósforo disponible (P) Bray II, Azufre disponible (S) y Boro (B) Fosfato monobásico de Calcio, potasio (K) Sodio (Na). Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) NTC 5349-2008, Aluminio intercambiable (Al) KCl 1 N, pH 1.1 (Suelo: Agua), Elementos menores NTC 5526:2007, M.O : Walkley black.

Figura 3. Análisis de suelo, finca Hato grande, Puerto López, Meta.



Fuente: AGROSAVIA

A continuación, se exponen los resultados de los cálculos después de aplicar cada una de las enmiendas granuladas, la saturación de aluminio inicial para todos es del 50%.

Tabla 5. Saturación de Al inicial y final de cada tratamiento

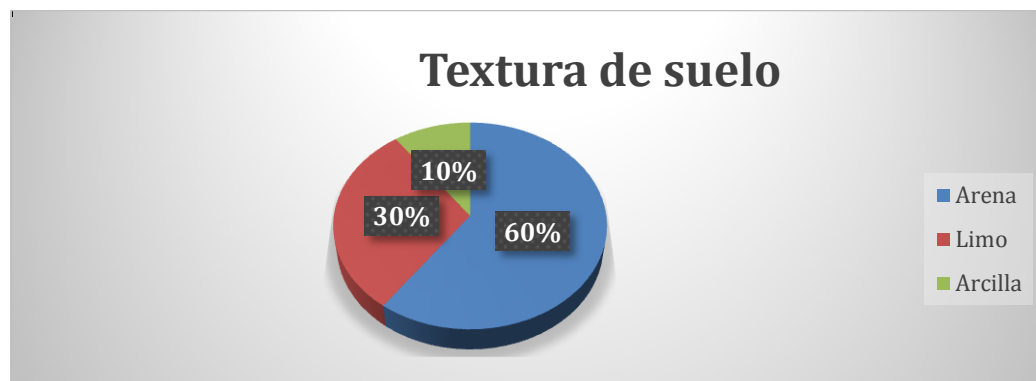
Aplicación	SAT AL Inicial	SAT AL Final
300kg de Totem	50%	38,99
200kg de Totem	50%	42,48
300kg de Núcleo Ca/Mg	50%	42,27

Fuente: Autor

4.3.2.2 Textura de suelo

El método de extracción para determinar los porcentajes texturales se realizó a través del método de bouyoucos, el cual es un proceso en el que se mide la densidad de la suspensión con un hidrómetro en diferentes momentos, teniendo en cuenta el tiempo que dura la caída de una partícula con relación a su diámetro.

Gráfica 1. Propiedades físicas del suelo experimental



Fuente: Autor

4.3.3 Adecuación del suelo experimental

Para llevar a cabo el experimento agrícola, se realizó una siembra directa del cultivo de maíz sobre los restos del cultivo anterior (maíz) y se procedió a la aplicación de los tratamientos.

4.4. VARIABLES DE EVALUACIÓN

Las variables biométricas a tener en cuenta están relacionadas directamente con el desarrollo fenológico, de producción y nutrición del cultivo de maíz, producto de su relación directa del suelo-planta-clima.

4.4.1 Variables de desarrollo fenológico

La variable que se tuvo en cuenta fue el grosor del tallo de la planta a partir de la fase fenológica V3 hasta el final del ciclo en intervalos quincenal determinados.

4.4.1.1 Grosor de tallo

En esta Variable se midió el diámetro del tallo durante la fase fenológica V3, V8, R2 y cosecha.

4.4.2 Variables de producción

La variable de producción que se tuvo en cuenta fue la del aforo en un metro lineal para la recolección de mazorcas en dicha área y el rendimiento de cosecha.

4.4.2.1 Rendimiento de cosecha

La Cosecha se realizó con una combinada de 16 metros de ancho de trabajo, la cual registraba con un GPS el área cosechada por cada tratamiento, para posteriormente realizar el cálculo por hectárea de cada uno.

4.4.2.2. Aforo de producción en metro lineal:

Esta actividad se realizó disponiendo cuatro puntos en cada tratamiento, para un total de 12 muestreos, se midió un metro en línea recta sobre el surco y se realizó la colecta de las mazorcas en esta área, una vez en el laboratorio se desgranaron las mazorcas para el pesado total de granos y humedad al momento de realizar la medición.

4.4.3. Variables de nutrición

De acuerdo con los efectos nutricionales que pueda tener el producto sobre el material vegetal, se realizó un análisis foliar y análisis de suelo para determinar la cantidad de nutrientes presentes por cada tratamiento.

4.4.3.1. Análisis Foliares por tratamiento:

Se realizó colecta de 60 hojas por tratamiento tomando la hoja acompañante de la mazorca y la inmediatamente debajo de ella siguiendo el procedimiento establecido por el laboratorio para evitar la contaminación con el ambiente.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 RESULTADOS EN DESARROLLO DEL MAÍZ

Bajo condiciones de estrés, sequía o calor, la movilización de los carbohidratos solubles en agua contenidos en el tallo contribuyen en un 60-70% a la producción (Cakmak et al.,2017; Drecce et al ., 2009), debido a esto se realizaron evaluaciones con periodicidad quincenal de la variable “Grosor de Tallo”, posterior a la aplicación de Tótem en estado fenológico V3; Lo anterior, con el objetivo de determinar la relación entre el grosor de tallo y producción de grano bajo la aplicación de dos dosis de Tótem y del Testigo de núcleo Ca/Mg.

Tabla 6. Muestreo 1 para variable grosor de tallo

Muestreo # 1 V3									
Tratamientos	Totem 300 Kg			Totem 200 Kg			Testigo de núcleo Ca/Mg 300 Kg		
Plantas por Replica/replica por tratamientos	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Planta 1	2,5	2,05	2,4	2,3	2,2	2,6	2,45	1,8	2,2
Planta 2	2,35	1,9	2,25	2	2,1	2	2,2	2,35	2
Planta 3	2,15	1,9	2,3	2,09	2,2	1,85	2,2	2,3	1,7
Planta 4	2,52	2,1	1,8	2	2,2	2	2,2	2,1	1,7
Planta 5	2	2,3	2,3	2,2	2,35	2,1	2,1	2,2	1,8
Promedio	2,304	2,05	2,21	2,118	2,21	2,11	2,23	2,15	1,88
Media general	2,19			2,15			2,09		

Nota. Datos de grosor de tallo en centímetros como variable del parámetro de desarrollo fenológico del maíz.

Tabla 7. Muestreo 2 para variable grosor de tallo.

Muestreo # 2 V8									
Tratamientos	Totem 300 Kg			Totem 200 Kg			Testigo de núcleo Ca/Mg 300 Kg		
Plantas por Replica/replica por tratamientos	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Planta 1	2,3	2,05	2,6	2,5	2,2	2,7	2,7	1,9	2,2
Planta 2	2,39	2	2,2	2,2	2,3	2,2	2,2	2,5	2,2
Planta 3	2,15	2	2,35	2	2,2	2,05	2,2	2,5	1,8
Planta 4	2,25	2,4	1,8	2,3	2,3	2,45	2,3	2,3	2,1
Planta 5	2	2,15	2,2	2,5	2,45	2,4	2,15	2,2	1,9
Promedio	2,218	2,12	2,23	2,3	2,29	2,36	2,31	2,28	2,04
Media general	2,19			2,32			2,21		

Nota. Datos de grosor de tallo en centímetros como variable del parámetro de desarrollo fenológico del maíz.

Tabla 8. Muestreo 3 para variable grosor de tallo.

Muestreo # 3 R2									
Tratamientos	Totem 300 Kg			Totem 200 Kg			Testigo de núcleo Ca/Mg 300 Kg		
Plantas por Replica/replica por tratamientos	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Planta 1	2,05	1,8	2,2	2,1	2	2,4	2,3	1,7	2,05
Planta 2	2,2	1,6	1,95	1,85	1,85	1,7	2	2,2	2
Planta 3	1,9	1,65	2,15	1,75	2	1,75	2,15	2,2	1,65
Planta 4	1,9	1,9	1,45	1,75	2	2	2,15	2	2
Planta 5	1,75	2	1,95	1,9	2,15	2	2	1,9	1,75
Promedio	1,96	1,79	1,94	1,87	2	1,97	2,12	2	1,89
Media General	1,9			1,9			2,0		

Nota. Datos de grosor de tallo en centímetros como variable del parámetro de desarrollo fenológico del maíz.

Tabla 9. Muestreo 4 para variable grosor de tallo

Muestreo # 4 COSECHA									
Tratamientos	Totem 300 Kg			Totem 200 Kg			Testigo de núcleo Ca/Mg 300 Kg		
Plantas por Replica/replica por tratamientos	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Planta 1	1,7	1,5	1,85	1,7	1,7	1,9	2,3	1,8	1,95
Planta 2	1,85	1,3	1,55	1,45	1,4	1,31	2	2,1	1,9
Planta 3	1,6	1,3	1,75	1,4	1,55	1,28	2	2,05	1,55
Planta 4	1,75	1,5	1,1	1,4	1,5	1,5	2,1	1,9	1,7
Planta 5	1,4	1,51	1,51	1,51	1,8	1,6	1,85	1,98	1,7
Promedio	1,66	1,422	1,552	1,492	1,59	1,518	2,05	1,966	1,76
Media General	1,54			1,53			1,93		

Nota. Datos de grosor de tallo en centímetros como variable del parámetro de desarrollo fenológico del maíz.

Se realizó tabulación de la media de cada muestreo por tratamiento para realizar desviación estándar y la relacion de datos en el programa SPSS donde arrojo resultados de significancia tukey según tratamiento (Ver Tabla 10).

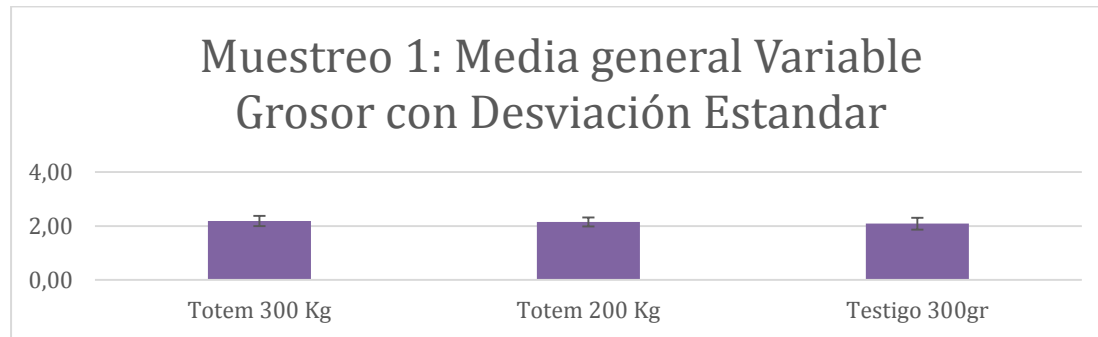
Tabla 10. Tabulación de la media de cada muestreo por Tratamiento.

Muestreos	Estado Fenológico	Totem 300 Kg	Totem 200 Kg	Testigo de núcleo Ca/Mg 300 Kg
1	V3	2,2	2,2	2,0
2	V8	2,2	2,3	2,2
3	R2	1,9	1,9	2,0
4	COSECHA	1,8	1,8	1,9

Nota. Datos de la media de grosor de tallo en centímetros como variable del parámetro de desarrollo fenológico del maíz.

Muestra 1

Gráfica 2. Muestreo 1 con Desviación Estandar.



Nota. Comparación de media de grosor de tallo en centímetros con desviación estándar para muestreo 1.

Tabla 11. Intervalo de confianza

Grosor de Tallo - Muestreo 1	Nombre	Testigo	Totem 200 Kg	Totem 300 Kg
	Media	2,0867	2,1460	2,1880
	Error estándar de la media	,06104	,04697	,05774
	IC 95% Limite inferior	1,9670	2,0539	2,0748
	IC 95% Limite superior	2,2063	2,2381	2,3012

Nota. IC: Intervalos de confianza

Tabla 12. Suma de cuadrados

ANOVA					
Grosor de tallo - Muestreo 1					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,078	2	,039	,839	,439
Dentro de grupos	1,946	42	,046		
Total	2,024	44			

Nota.

Sig.: Significancia

F: Factor: los distintos niveles del factor se comportan de igual forma en lo que a la variable dependiente se refiere.

gl: Grados de libertad total

Tabla 13. Prueba de TUKEY

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente:				
HSD Tukey				
(I) VAR00001		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Totem 300 Kg	Totem 200 Kg	,04200	,07860	,855
	Testigo nucleo Ca/Mg	,10133	,07860	,409
Totem 200 Kg	Totem 300 Kg	-,04200	,07860	,855
	Testigo nucleo Ca/Mg	,05933	,07860	,732
Testigo núcleo Ca/Mg	Totem 300 Kg	-,10133	,07860	,409
	Totem 200 Kg	-,05933	,07860	,732

Nota:

No tiene repercusión estadísticamente significativa en la valoración de la variable de grosor de tallo.

Tabla 14. Prueba de TUKEY (Grosor)

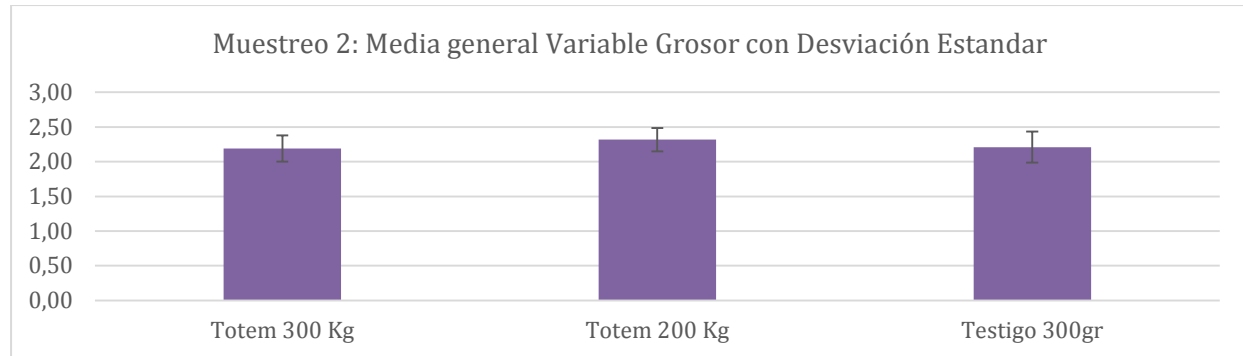
Grosor de tallo - Muestreo		
HSD Tukey ^a		
VAR00001	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Testigo núcleo Ca/Mg	15	2,0867
Totem 200 Kg	15	2,1460
Totem 300 Kg	15	2,1880
Sig.		,409

Nota.

No existen diferencias significativas entre los grupos (inter-grupos)

Muestra 2

Gráfica 3. Muestreo 2 con Desviación Estandar



Nota. Comparación de media de grosor de tallo en centímetros con desviación estándar para muestreo 2

Tabla 15. Intervalo de confianza

	Nombre	Testigo núcleo Ca/Mg	Totem 200 Kg	Totem 300 Kg	Total
Grosor de Tallo - Muestreo 2	Media	2,2100	2,3167	2,1893	2,2387
	Error estándar de la media	,06176	,04797	,05241	,03179
	IC 95% Limite inferior	2,088951	2,222636	2,086604	2,176353
	IC 95% Limite superior	2,3310494	2,4106974	2,2920626	2,3009801

Nota. IC: Intervalos de confianza

Tabla 16. Suma de cuadrados.

ANOVA					
Grosor de Tallo					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,140	2	,070	1,581	,218
Dentro de grupos	1,861	42	,044		
Total	2,001	44			

Nota. Sig.: Significancia. F: Factor: los distintos niveles del factor se comportan de igual forma en lo que a la variable dependiente se refiere.

gl: Grados de libertad total

Tabla 17. Prueba de TUKEY (Comparaciones múltiples)

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente:	Grosor de Tallo			
HSD Tukey				
(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Totem 300 Kg	Totem 200 Kg	-,12733	,07687	,234
	Testigo	-,02067	,07687	,961
Totem 200 Kg	Totem 300 Kg	,12733	,07687	,234
	Testigo	,10667	,07687	,356
Testigo núcleo Ca/Mg	Totem 300 Kg	,02067	,07687	,961
	Totem 200 Kg	-,10667	,07687	,356

Nota:

No tiene repercusión estadísticamente significativa en la valoración de la variable de grosor de tallo

Tabla 18. Prueba de TUKEY (Tratamientos)

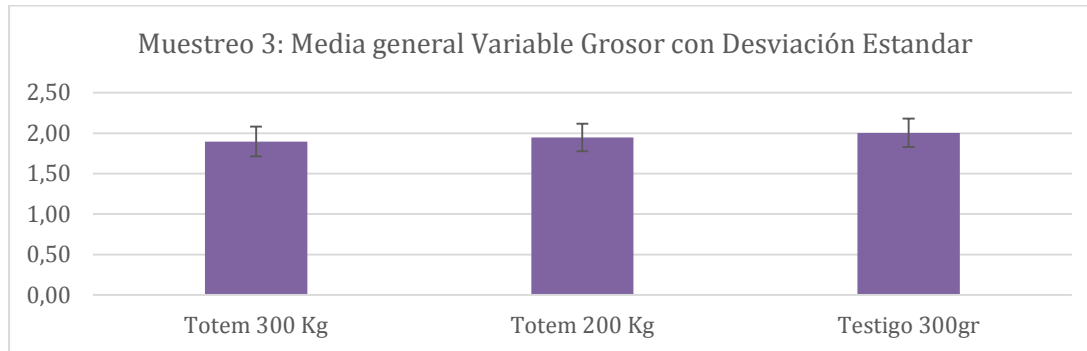
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Totem 300 Kg	15	2,1893
Testigo núcleo Ca/Mg	15	2,2100
Totem 200 Kg	15	2,3167
Sig.		,234

Nota.

No existen diferencias significativas entre los grupos (inter-grupos)

Muestra 3

Gráfica 4. Muestreo 3 con Desviación Estandar.



Nota. Comparación de media de grosor de tallo en centímetros con desviación estándar para muestreo 3

Tabla 19. Intervalo de confianza

Grosor de Tallo - Muestreo 3	Nombre	Testigo	Totem 200 Kg	Totem 300 Kg
	Media	2,0033	1,9467	1,8967
	Error estándar de la media	,049	,048	,056
	IC 95% Limite inferior	1,907	1,853	1,786
	IC 95% Limite superior	2,099	2,041	2,007

Nota. IC: Intervalos de confianza

Tabla 20. Suma de cuadrados.

ANOVA					
Grosor de Tallo					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,085	2	,043	1,086	,347
Dentro de grupos	1,652	42	,039		
Total	1,737	44			

Nota. Sig.: Significancia. F: Factor: los distintos niveles del factor se comportan de igual forma en lo que a la variable dependiente se refiere.

gl: Grados de libertad total

Tabla 21. Prueba de TUKEY (Muestra 3)

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente: Grosor de tallo - Muestreo 3				
HSD Tukey				
(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Totem 300 Kg	Totem 200 Kg	-,05000	,07242	,770
	Testigo	-,10667	,07242	,314
Totem 200 Kg	Totem 300 Kg	,05000	,07242	,770
	Testigo	-,05667	,07242	,716
Testigo núcleo Ca/Mg	Totem 300 Kg	,10667	,07242	,314
	Totem 200 Kg	,05667	,07242	,716

Nota:

No tiene repercusión estadísticamente significativa en la valoración de la variable de grosor de tallo

Tabla 22. Prueba de TUKEY (Tratamientos Muestra 3)

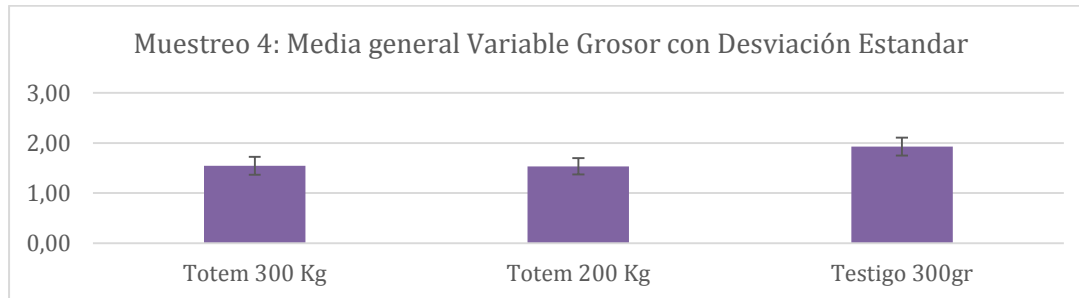
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Totem 300 Kg	15	1,8967
Totem 200 Kg	15	1,9467
Testigo núcleo Ca/Mg	15	2,0033
Sig.		,314

Nota.

No existen diferencias significativas entre los grupos (inter-grupos)

Muestra 4

Gráfica 5. Muestreo 4 con Desviación Estandar



Nota. Comparación de media de grosor de tallo en centímetros con desviación estándar para muestreo 4

Tabla 23. Intervalo de confianza

Grosor de Tallo - Muestreo 4	Nombre	Testigo	Totem 200 Kg	Totem 300 Kg
	Media	1,9253	1,5333	1,5447
	Error estándar de la media	,04864	,04593	,05532
	IC 95% Limite inferior	1,830	1,443	1,436
	IC 95% Limite superior	2,021	1,623	1,653

Nota.

IC: Intervalos de confianza

Tabla 24. Suma de cuadrados

ANOVA					
Grosor de Tallo					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,493	2	,747	19,819	,000
Dentro de grupos	1,582	42	,038		
Total	3,076	44			

Nota. Sig.: Significancia. F: Factor: los distintos niveles del factor se comportan de diferente forma en lo que a la variable dependiente se refiere.

gl: Grados de libertad total

Tabla 25. Prueba de TUKEY

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Grosor de tallo - Muestreo 4						
HSD Tukey						
(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Totem 300 Kg	Totem 200 Kg	,01133	,07088	,986	-,1609	,1835
	Testigo	-,38067*	,07088	,000	-,5529	-,2085
Totem 200 Kg	Totem 300 Kg	-,01133	,07088	,986	-,1835	,1609
	Testigo	-,39200*	,07088	,000	-,5642	-,2198
Testigo núcleo Ca/Mg	Totem 300 Kg	,38067*	,07088	,000	,2085	,5529
	Totem 200 Kg	,39200*	,07088	,000	,2198	,5642

Nota:

Estadísticamente presenta diferencias significativas en la valoración de la variable de grosor de tallo. El testigo presenta diferencia significativa frente al Totem de 300 Kg/ha

Tabla 26. Prueba de TUKEY

Grosor de Tallo			
HSD Tukey ^a			
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Totem 200 Kg	15	1,5333	
Totem 300 Kg	15	1,5447	
Testigo núcleo Ca/Mg	15		1,9253
Sig.		,986	1,000

Nota.

Existe diferencias significativas entre los grupos (inter-grupos).

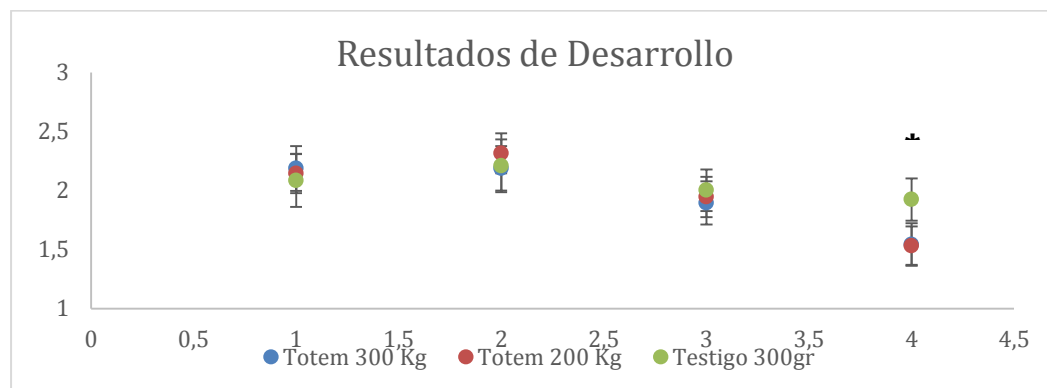
Grupo 1: no presenta diferencias significativas entre Totem de 200 Kg/ha y Totem de 300 Kg/ha

Grupo 2: presenta diferencias significativas entre grupo 1 y grupo 2

La aplicación de Tótem a razón de 200 Kg/ha tiene una variación en el grosor del tallo de 5% versus el testigo de núcleo Ca/Mg y la aplicación de Totem a razón de 300 Kg/ha tuvo una variación de 5% frente al testigo de núcleo Ca/Mg, dichas variaciones mostraron una relación importante con los datos de producción consignados a continuación. Vale la pena aclarar que esta variación del 5% en el grosor del tallo se mantuvo en las mediciones 3 y 4 donde se espera en teoría mayor movilización de asimilados.

Esto debido a que la planta de maíz tiene la capacidad de retener sus nutrientes en su tallo y hojas que cuando existe una buena relación de calcio magnesio y azufre puede traslocar los nutrientes de manera eficiente tal cual como lo demuestra Foote y Hanson. (1964) la acumulación de fosfato y cloruro se reduce por la eliminación del calcio, pero la cantidad de aumenta el anión intercambiable. El calcio o el magnesio revertirán la inhibición y de hecho aumentarán la acumulación.

Gráfica 6. Variación estandar del desarrollo fenológico.



Nota:

Comparación prueba de Tukey entre muestreo.

*: Muestreo 4 presenta 2 grupos. Diferencias significativas

5.2. RESULTADOS PRODUCCIÓN MAÍZ Kg/ha

5.2.1 Aforo de producción

Este se realizó con el fin de evaluar cuál es el mejor tratamiento desde el punto de vista productivo, por lo cual se tuvieron en cuenta 2 momentos debido a la importancia del mismo, el primero es el aforo en metro lineal, que se realiza tomando al azar 4 submuestras por tratamiento proyectando de acuerdo a los datos tomados, cual podría ser la producción del lote, y la segunda que es el rendimiento de cosecha el cual se realizó con una combinada especial para la recolección de maíz, la cual tenía integrado un gps que nos dice el área que fue cosechada para posteriormente llevar los datos a una hectárea.

5.2.1.1. Aforo en metro lineal

Para el aforo de metro lineal se realizó en etapa fenológica R6, la recolección de mazorcas por cada 100 cm, con cuatro muestreos por cada tratamiento, posteriormente se desgranaron las mazorcas en laboratorio pesando y midiendo el porcentaje de humedad de los granos recolectados.

Según el aforo lineal el promedio productivo del tratamiento con 300 kg de Totem/ha fue de 7,85 toneladas por hectárea, para el tratamiento con 200 kg de Totem/ha fue de 8,37 toneladas por hectárea y para el tratamiento de núcleo Ca/Mg con 300 kg del núcleo calcio magnesio/ha fue de 7,18 toneladas por hectárea.

Tabla 27. Aforo en metro lineal Totem 300kg/ha

	Totem 300 Kg/ha			
	Peso Inicial	% Humedad	Peso corregido	Ton/ha
Muestra 1	0,848	14,2	0,836	7,9
Muestra 2	0,732	13,5	0,759	7,2
Muestra 3	0,765	15	0,714	6,7
Muestra 4	0,908	12,5	1,017	9,6
Promedio	0,813	NA	0,832	7,85

Fuente: Autor

Tabla 28. Aforo en metro lineal Totem 200kg/ha

	Totem 200 Kg/ha			
	Peso Inicial	% Humedad	Peso corregido	Ton/ha
Muestra 1	0,955	16,6	0,805	7,6
Muestra 2	0,82	14,1	0,814	7,7
Muestra 3	0,848	12,8	0,928	8,8
Muestra 4	1,019	14,3	0,998	9,4
Promedio	0,911	NA	0,886	8,37

Fuente: Autor

Tabla 29. Aforo en metro Núcleo Ca/Mg 300kg/ha

	Testigo núcleo Ca/Mg			
	Peso Inicial	% Humedad	Peso corregido	Ton/ha
Muestra 1	0,642	13,7	0,656	6,2
Muestra 2	0,835	13,5	0,866	8,2
Muestra 3	0,708	14	0,708	6,7
Muestra 4	0,853	14,7	0,812	7,7
Promedio	0,7595	NA	0,761	7,18

Fuente: Autor

5.2.1.1. Rendimiento de cosecha

Los resultados de producción por hectárea de grano de maíz manifestaron incrementos en los dos tratamientos donde se aplicó Tótem. El Tratamiento 1, con 300 Kg/ha, obtuvo una variación del 24% en producción frente al Testigo núcleo Ca/Mg, el tratamiento 2, correspondiente a la aplicación de 200 kg de Tótem, obtuvo una variación del 19 % en producción frente al Testigo

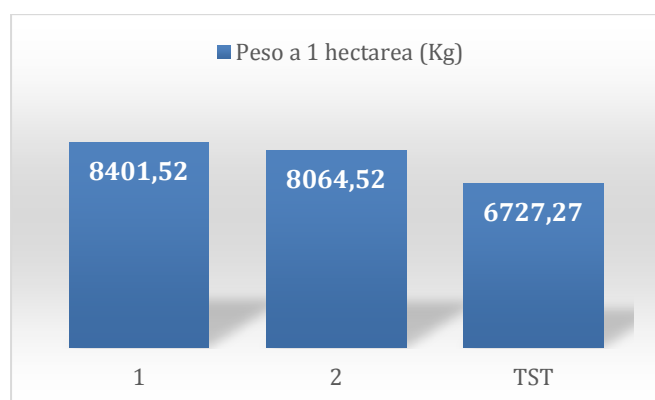
núcleo Ca/Mg, las producciones para el tratamiento 1 se registraron en un promedio de 8.064 kg/ha, para el tratamiento 2 8.401 kg/ha y el tratamiento 3 obtuvo 6,727 kg/ha de grano de maíz.

Tabla 30. Rendimiento de cosecha

Tratamiento	Área Cortada	Peso en bascula (Kg)	Peso a 1 hectárea (Kg)	% Humedad	Impureza
1	1,32	11.090	8401,52	19,5	2,1
2	1,24	10.000	8064,52	19	2,1
TST	1,43	9.620	6727,27	18,9	2

Fuente: Autor

Gráfica 7. Rendimiento de producción por tratamiento



Fuente: Autor

Con relación a la producción del maíz obtenida por cada tratamiento se realizó una evaluación económica, con precio de acuerdo al año 2020 (promedio tonelada a \$750.000) (FENALCE, 2020) y 2022 (promedio tonelada a \$1.700.000)(FENALCE, 2022), esto con el fin de evaluar el impacto económico sobre el producto cuando los ingresos son desfavorables.

Tabla 31. Datos de precios por tratamiento.

TRATAMIENTOS	Producción de maíz ton/ha	Precio Comercial Actual Tonelada de Maíz	Ingresos Totales venta de maíz /ha	Precio bulto x 50 kg de Enmienda	Total aplicación Enmienda
T1	8,40	\$ 1.700.000	\$ 14.282.575,76	\$ 64.000	\$ 384.000
T2	8,06	\$ 1.700.000	\$ 13.709.677,42	\$ 64.000	\$ 256.000
T3	6,73	\$ 1.700.000	\$ 11.436.363,64	\$ 67.000	\$ 402.000

Fuente: Autor

Tabla 32. Comparación de costos entre tratamientos

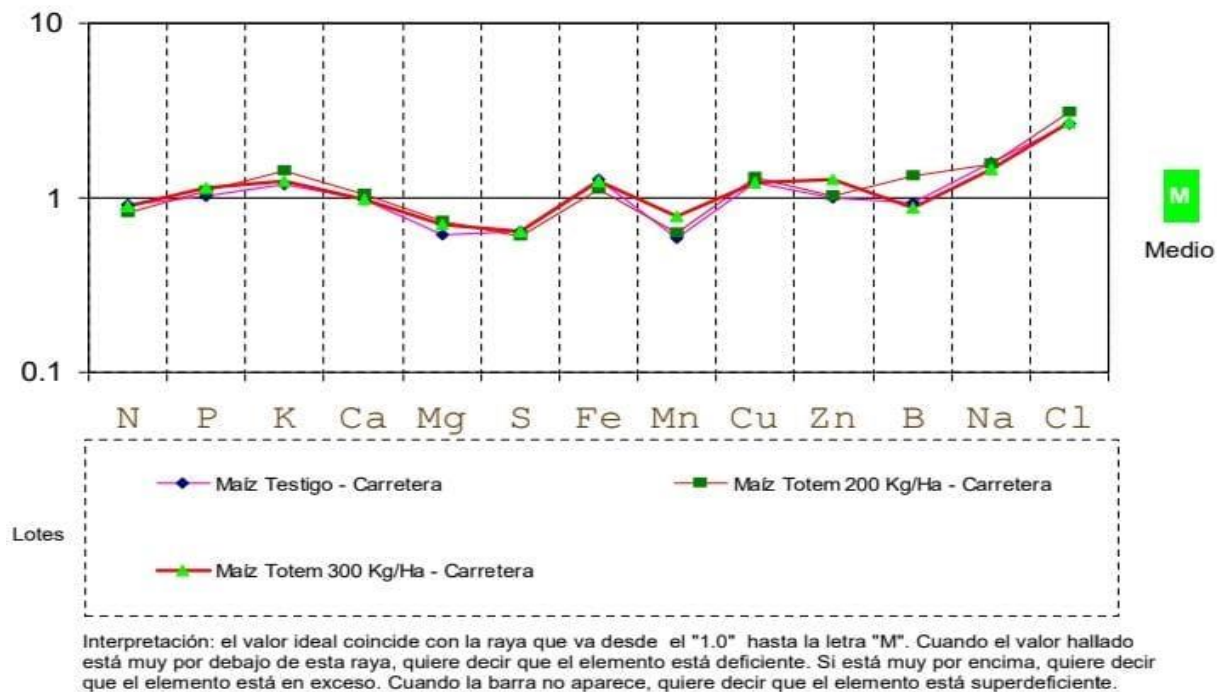
Ingresos aplicación 300 kg: T1	Ingresos aplicación 200 kg: T2	Ingresos aplicación 300 kg testigo: T3
\$ 14.282.576	\$ 13.709.677	\$ 11.436.364
DIFERENCIAS		
Diferencia ingresos T1 vs T2	\$ 572.898	
Diferencia ingresos T1 vs T3	\$ 2.846.212	
Diferencia costos T1 vs T2	\$ 128.000	
Diferencia costos T3 vs T1	\$ 18.000	
Diferencia de ingresos T1 vs T2. De Totem con valor comercial de \$1.700.000 ton de maíz	Diferencia de ingresos T1 vs T2. De Totem con valor comercial de \$750.000 año 2020 ton de maíz	Diferencia de ingresos T1 de Totem vs T3 de Testigo núcleo Ca/Mg con valor comercial de \$1.700.000 2022 ton de maíz
\$ 444.898	\$ 124.729	\$ 2.863.942

Fuente: Autor.

El análisis marginal, derivado de los tratamientos aplicados en maíz, evidenció que el mejor tratamiento, en cuanto a la relación beneficio-costos fue el tratamiento T1: TOTEM 300 Kg/ha con un margen de ganancia adicional frente al T2 de \$444.898 y frente al tratamiento T3 de \$2.863.942 basado en el precio promedio registrado en junio 2022 en la venta de tonelada de maíz amarillo de \$1.700.000.

5.3. Resultado Nutricional Maíz.

Gráfica 8. Análisis foliar finca Hato Grand



Fuente: Laboratorio Agrilab

Del análisis foliar podemos interpretar que la acumulación de fosfato y cloruro se reduce por la eliminación del calcio, pero la cantidad aumenta el anión intercambiable. El calcio o el magnesio revertirán la inhibición y de hecho aumentarán la acumulación (Foote & Hanson, 1964). Lo cual se evidencia parcialmente entre el cloruro y el fósforo, donde en el análisis foliar presentan una concentración superior y en el análisis de suelo baja, esto debido a la baja disponibilidad en el suelo de Ca/Mg que posterior a su aplicación en el suelo la planta nivela la acumulación que debe tener disponible. (Tanaka & Fujiwara, 2008)

Los 3 tratamientos presentan coincidencias en el contenido de cada elemento en la hoja, para el tratamiento con 200 kg de tótem el boro es superior a las aplicaciones de 300 kg de tótem y 300 kg del núcleo calcio magnesio, según (Tanaka & Fujiwara, 2008). Las plantas a pH ácidos presentan una mayor concentración de boro en el tejido foliar respecto a los suelos con pH básicos.

6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló este trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

La aplicación de Tótem en estado fenológico V1 como fertilizante y corrector de suelos generó un aumento considerable de producción. Los resultados confirman que aplicaciones de Tótem anuales, posteriores al encalamiento, contribuyen al aumento de la movilización de carbohidratos presentes en el tallo, que implica a su vez un mayor peso de grano, siendo esta una alternativa costo - beneficio positiva, puesto que no requiere incorporación y sostiene la producción que tiende a la baja por la pérdida del efecto encalante.

Aunque no hubo diferencias significativas entre la aplicación de Totem de 200kg y 300Kg en producción, esto dependerá de la fluctuación del precio del mercado, debido a que el maíz registra variabilidad en el precio de acuerdo a la oferta mundial.

Las diferencias entre el aforo lineal y los rendimientos de la cosecha, se presentan por el porcentaje de humedad con el que fue pesado el grano en cada medición, y el error que se puede presentar al tomar aleatoriamente cada muestreo y llevarlo al total de una hectárea. Por lo cual se concluye que el mejor sistema para evaluar los rendimientos debe ser al momento de la cosecha.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., & Fallas, J. (Enero de 2004). LA SATURACIÓN DE ACIDEZ Y EL ENCALADO SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA TECA (*Tectona grandis* L.f.) EN SUELOS ÁCIDOS DE COSTA RICA. *Agronomía Costarricense*, XXVIII(1), 81-87. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/436/43628108.pdf>
- Cakmak , I., & Yazici, A. M. (s.f.). *Intagri.com*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/magnesio-nutriente-olvidado-salvar-cultivo>
- Carranza, J. (Nooviembre de 2005). *Zamorano*. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5199/1/CPA-2005-T016.pdf>
- Castro, H., & Guerrero, J. C. (3 de Agosto de 2018). Evaluación de materiales de encalado mediante pruebas de incubación en un oxisol de la altillanura colombiana. *REVISTA DE CIECIAS AGRÍCOLAS*, 34(2), 14_26. doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183502.88>
- Chang, R., & Goldsby, K. (2013). *Química* (11 ed.). Mexico: McGraw Hill. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de <https://pdf.wecabrio.com/read/0biMDAAAQBAJ.pdf>
- CorpoLife Latin America. (2018). *Croplifela.org*. Obtenido de <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/hormiga-arriera-atta-cephalotes>
- DEKALB. (2021). *DEKALB*. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de https://www.dekalb.com.co/es-co/portafolio_dekalb/productos_colombia/dk-7088_col.html
- dos Santos, M. S. (25 de Mayo de 2020). *maissoja*. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de Maissoja: <https://maissoja.com.br/quais-prejuizos-sao-causados-pela-acidez-do-solo/>

- Espinoza, j. (2001). Acidez y encalado de suelos. En S. C. Suelo, *FERTILIDAD DE SUELOS. Diagnostico y control* (Segunda ed., págs. 113-128). Bogotá D.C.: Editora Guadalupe Ltda. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4922/1/216.1.pdf>
- Espinoza, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de suelos*. Quito, Ecuador: IPNI. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>
- Fassbender, H. (1986). *QUÍMICA DE SUELOS con énfasis en suelos de América Latina* (Segunda ed.). San José, Costa Rica: IICA. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6801/2/BVE18039990e.pdf>
- Foote, B. D., & Hanson, J. B. (1964). Ion Uptake by Soybean Root Tissue Depleted of Calcium by Ethylenediaminetetraacetic Acid. *Plant Physiology*, 450 - 460.
- Foth, H., & Ellis, B. (1997). *Soil Fertility*. Boca Raton, Florida: 2nd Ed. CRC Press.
- Giné, I., & Mariscal, I. (2002). *Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo*. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de https://www.researchgate.net/profile/Ignacio_Mariscal-Sancho/publication/44113802_Incidencia_de_los_fertilizantes_sobre_el_pH_del_suelo/links/56fd1ec908ae8c2a97c10a49.pdf
- IDEAM. (2012). *CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS*. Bogotá D.C. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: UNAL. Recuperado el 17 de 10 de 2020

Kemmitt, S., Jones, D., Goulding, K., & Wright, D. (Mayo de 2006). pH Regulation of Carbon and Nitrogen Dynamics in Two Agricultural Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, XXXVIII, 898-911. doi:DOI: 10.1016/j.soilbio.2005.08.006

Lazcano, I. (2003). *CAL AGRÍCOLA: CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA PRODUCCION DE CULTIVOS*. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de <https://vecafo.com/files/cal-agricola-conceptos-basicos-para-la-produccion-de-cultivos.pdf>

Littke, K., & Zabowaki, D. (2007). Influence of calcium fertiliationon Douglas-fir foliarnutrition, soil nutrient availability, and sinousity in coasta. *Forest Ecology and Management* 247.

Lora, R. (1998). PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO. *ENCUENTRO NACIONAL DE LABRANZA DE CONSERVACION* (págs. 15-38). Villavicencio: Editora Guadalupe Ltda. Recuperado el 17 de Octubre de 2020, de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/15960/39940_24494.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Marshner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. London: 2° edicion, Academic Press.

Melgarejo, L. M. (diciembre de 2010). Eperimentos en fisiología vegetal. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Myers, R. (1 de Junio de 2010). One-hundre Years of pH. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 30-32. doi:<https://doi.org/10.1021/ed800002c>

Navarro Blaya, S., & Navarro Garcia, G. (2003). *Química Agrícola* . Mundi Prensa.

Osorio. (2012). *COMO DETERMINAR LOS REQUERIMIENTOS DE CAL DEL SUELO?* Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Medellín: UNAL. Recuperado

el 18 de Octubre de 2020, de
<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/Requerimiento-de-cal.pdf>

Osorio, N. W. (2012). *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*. Medellín. Recuperado el 17 de Octubre de 2020, de
<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Osorio, N. W. (2012). *pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES*. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Medellín. Recuperado el 17 de Octubre de 2020, de
<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>

Osorno, H. (2012). *CORE*. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de
<https://core.ac.uk/reader/11056362>

QUIMINT. (26 de Noviembre de 2019). *QUIMINT*. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de
https://e8af2669-7e45-4223-ad53-71831a7c7ec1.filesusr.com/ugd/114f02_64cef1944ce742a5a156828c585908b2.pdf

Rivas, L., Hoyos, P., Amézquita, E., & Molina, D. L. (Diciembre de 2004). *CIAT*. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de
http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/degradacion_capa_arable.pdf

Sadeghian, S. (2016). *LA ACIDEZ DEL SUELO, UNA LIMITANTE COMUN PARA LA PRODUCCION DE CAFE*. Manizales: CENICAFE. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/704/1/avt0466.pdf>

Sadeghian, S. (2016). *La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café*.

Manizale: Cenicafe. Recuperado el 18 de Octubre de 2020

Tanaka, M., & Fujiwara, T. (2008). Physiological roles and transport mechanisms of boron:

Perspectives from plants. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology* 456(4): 671-677.

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). *Manual de Métodos*

de. Brasília: Embrapa. Recuperado el 18 de Octubre de 2020, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172314/1/Pt-2-Cap-4-Acidez-potencial-do-solo.pdf>

VAN RAIJ, B. (1977). Estudo De Materiais Calcários Usados Como Correctivos Do Solo No

Estado de Sao Paulo. *Bragantia*, 139-145. Recuperado el 18 de Octubre de 2020

Xue, D., Huang, X., Yao, H., & Huang, C. (Agosto de 2010). Effect of lime application on microbial community in acidic tea orchard soils in comparison with those in wasteland

and forest soils. *Journal of Environmental Sciences*, XXII(8), 1253-1260. doi:[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60246-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60246-1)

Zapata, R. (2002). *QUÍMICA DE LA ACIDEZ DEL SUELO*. Medellín: UNAL MEDELLIN.

Recuperado el 17 de Octubre de 2020, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3280/9583367125.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

8. ANEXOS

Anexo 1. *Georefenciación y Siembra del Maíz.*



Fuente: Autor.

Anexo 2. *Aplicación de tratamiento en fase V1.*



Fuente: Autor.

Anexo 3. *Calibración de voleadora para aplicación de tratamientos.*



Fuente: Autor.

Anexo 4. *Delimitación con estacas a cada tratamiento.*



Fuente: Autor.

Anexo 5. *Etapas Vegetativa transición en V3 y V4.*



Fuente: Autor.

Anexo 6. *Etapas vegetativa en transición a etapa reproductiva (panoja).*



Fuente: Autor.

Anexo 7. *Toma de datos quincenales, variable grosor de tallo.*



Fuente: Autor.

Anexo 8. *Toma de datos quincenal, variable grosor de tallo.*



Fuente: Autor.

Anexo 9. *Toma de datos quincenal, variable grosor de tallo.*



Fuente: Autor.

Anexo 10. *Toma de datos quincenal, variable grosor de tallo.*



Fuente: Autor.

Anexo 11. Maiz en fase reproductiva.



Fuente: Autor.

Anexo 12. Fase Reproductiva R2.



Fuente: Autor.

Anexo 13. *Recolección de hojas por tratamiento para análisis foliar.*



Fuente: Autor.

Anexo 14. *Toma de muestra foliar para laboratorio, análisis foliar.*



Fuente: Autor.

Anexo 15. *Trasbordo de grano a volqueta para medición en bascula.*



Fuente: Autor.

Anexo 16. *Cosecha.*



Fuente: Autor.