2017

EFECTO DE ENMIENDAS ÓRGANO MINERALES EN EL SUELO, PLANTA Y LIXIVIACIÓN DE NITROGENO (N) EN DOS SUELOS DEL VALLE DEL CAUCA SEMBRADOS CON ESTEVIA (*Stevia rebaudiana B.)*

VICTOR MANUEL TORRES LOZANO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA ENFASIS EN INGENERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DEL VALLE

EFECTO DE ENMIENDAS ÓRGANO MINERALES EN EL SUELO, PLANTA Y LIXIVIACIÓN DE NITROGENO (N) EN DOS SUELOS DEL VALLE DEL CAUCA SEMBRADOS CON ESTEVIA (*Stevia rebaudiana B.)*

VICTOR MANUEL TORRES LOZANO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE-EIDENAR
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ENFASIS EN INGENERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS – IREHISA
SANTIAGO DE CALI
2017

EFECTO DE ENMIENDAS ÓRGANO MINERALES EN EL SUELO, PLANTA Y LIXIVIACIÓN DE NITROGENO (N) EN DOS SUELOS DEL VALLE DEL CAUCA SEMBRADOS CON ESTEVIA (*Stevia rebaudiana B.)*

VICTOR MANUEL TORRES LOZANO
COD: 1503992

MARTHA CONSTANZA DAZA MSc
Directora trabajo de grado

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE-EIDENAR
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ENFASIS EN INGENERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS Y SUELOS – IREHISA
SANTIAGO DE CALI
2017

NOTA DE APROBACIÓN

_____
_____
_____
_____
_____

_____
FIRMA DIRECTORA

_____
FIRMA JURADO 1

_____
FIRMA JURADO 2

DEDICATORIA

A mis padres VALENTIN TORRES y GLORIA LOZANO por su apoyo incondicional en todos los proyectos que he decidido iniciar en mi vida, por sus enseñanzas y por vivir el día a día a mi lado.

A mi hermana JOHANNA TORRES por apoyarme, aconsejarme y cuidarme en momentos difíciles.

A toda la familia LOZANO CARDOZO por estar presentes en todos los momentos de mi vida.

A Dios por permitirme alcanzar todas las metas que me he propuesto.

AGRADECIMIENTOS

A la profesora MARTHA CONSTANZA DAZA, por guiarme durante todo el proceso investigativo, por brindarme sus conocimientos, apoyo incondicional y por sus enseñanzas en el ámbito profesional y personal.

Al profesor WALDEMAR PEÑARETE por su colaboración durante el montaje y desarrollo de la investigación.

A todo el personal del laboratorio de aguas y suelos agrícolas de la Universidad del Valle, por su colaboración y disponibilidad durante todo el desarrollo del proyecto.

Al grupo de investigación IREHISA, por su manejo, colaboración y disponibilidad en procesos logísticos y administrativos del proyecto.

A CINDY ELEJALDE, JULIANA SANDOVAL, MIGUEL DIAZ y todos los compañeros de laboratorio, con los que aprendí y compartí conocimientos relevantes para el desarrollo de la investigación.

En general a todo el grupo de la maestría en ingeniería sanitaria y ambiental, por hacer parte de este proceso y de esta etapa de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 14
1. INTRODUCCIÓN 16
2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17
3. ESTADO DEL ARTE 20
3.1 Marco Teórico 20
3.1.1 Dinámica del Nitrógeno (N) en el suelo 20
3.1.2 Lixiviación, lavado y percolado de nutrientes en el suelo 22
3.1.3 Abonos y Fertilizantes: Fertilizantes de liberación lenta 23
3.1.4 Eficiencia de fertilización nitrogenada 27
3.1.5 Estevia: Requerimientos hídricos, climatológicos y nutricionales. 28
3.2 Antecedentes 29
4. OBJETIVOS 33
4.1 Objetivo general 33
4.2 Objetivos Específicos 33
5. METODOLOGÍA 34
5.1 Localización de los ensayos experimentales 34
5.2 Descripción de los suelos 34
5.3 Descripción de la enmienda órgano-mineral (lombricompost y montmorillonita) 35
5.4 Establecimiento del experimento 36
5.5 Diseño experimental 37
5.6 Variables de respuesta 40
5.7 Prácticas culturales 42
5.7.1 Podas 42
5.7.2 Fertilización 42
5.7.3 Riego 43
5.7.4 Control de plagas y enfermedades 45
5.8 Análisis Estadístico 46
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 47
6.1 Resultados 47
6.1.1 Calibración tanque evaporímetro 47

6.1.2 Caracterización inicial de los suelos y de la enmienda órgano mineral..47
6.1.3 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en propiedades de la Estevia (*Stevia rebaudiana* B.) cultivada en dos suelos. 49
6.1.4 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en las variables de dos tipos de suelo 55
6.1.5 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales sobre los Índices de eficiencia de fertilización nitrogenada.....61
6.1.6 Efecto del abono sintético en propiedades del cultivo, del suelo e índices de fertilización nitrogenada.....63
6.1.7 Efecto del tipo de suelo en propiedades del cultivo, del suelo e índices de fertilización. 65
6.1.8 Correlaciones entre variables.....66
6.2 Discusión de resultados.....67
6.2.1 Efecto de la aplicación de enmienda órgano mineral en la lixiviación de nitrógeno 67
6.2.2 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en propiedades agronómicas y rendimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B*).....70
6.2.3 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en las variables de dos tipos de suelo 79
6.2.4 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales sobre los Índices de eficiencia de fertilización nitrogenada.....85
7. CONCLUSIONES 90
8. RECOMENDACIONES.....92
9. BIBLIOGRAFÍA.....93
10. ANEXOS.....100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índices agronómicos de eficiencia de uso de N 27
Tabla 2. Antecedentes generales en el uso de enmiendas orgánicas, minerales y órgano-minerales en la agricultura. 29
Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de los suelos y sus métodos de medición. Fuente: IGAC, 2006. 35
Tabla 4. Propiedades físicas y químicas de los componentes de la enmienda órgano-mineral y sus métodos de medición. Fuente: IGAC, 2006. 35
Tabla 5. Tratamientos establecidos en la investigación. 38
Tabla 6. Identificación de cada tratamiento. 38
Tabla 7. Unidades experimentales resembradas a los 6 días después del primer trasplante. 40
Tabla 8. Variables de respuesta del experimento. 40
Tabla 9. Determinación del volumen de riego diario para cada unidad experimental. 44
Tabla 10. Coeficientes del cultivo usados en el experimento y volumen total de riego. 44
Tabla 11. Resultados de caracterización inicial de suelos. 48
Tabla 12. Resultados caracterización inicial de los componentes de la enmienda órgano mineral. 49
Tabla 13. Requerimientos hídricos del cultivo después del trasplante. 67
Tabla 14. Kc y consumos hídricos promedios diarios reportados en la literatura. .68
Tabla 15. Requerimientos hídricos de la Estevia reportados en la literatura. 68
Tabla 16. Valores de variables agronómicas del cultivo por tratamiento para cada tipo de suelo 70
Tabla 17. Efecto de enmiendas órgano minerales en el porcentaje del nitrógeno foliar (NF) en diferentes cultivos. 71
Tabla 18. Efecto de enmiendas orgánicas y órgano minerales en el número de hojas, en el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B.).* 73
Tabla 19. Efecto de enmiendas OM y minerales en el peso seco aéreo (PSA) en diferentes cultivos. 74
Tabla 20. Rendimiento del cultivo por tipo de suelo en g/planta y kg/ha para los tratamientos para los dos suelos estudiados. 76
Tabla 21. Rendimiento del cultivo en diferentes suelos, según el pH, la fuente y tasa de aplicación del N 76
Tabla 22. Efecto de enmiendas OM y minerales en el rendimiento de los cultivos. 78
Tabla 23. Valores de variables de suelo con diferencias significativas, por tratamiento para cada tipo de suelo. 80
Tabla 24. Valoración de la CIC según su resultado. 80
Tabla 25. Efecto de enmiendas OM y minerales en la CIC de suelos sembrados con diferentes cultivos. 81
Tabla 26. Interpretación del Nitrógeno total del suelo. 83

Tabla 27. Efecto de enmiendas OM y minerales en el NT de suelos sembrados con diferentes cultivos. 83
Tabla 28. Valores de variables de eficiencias de fertilización nitrogenada (EA y ER) por tratamiento para cada tipo de suelo. 85
Tabla 29. Efecto de enmiendas OM y minerales en la eficiencia agronómica de recuperación, de suelos sembrados con diferentes cultivos. 86
Tabla 30. Efecto de enmiendas OM en la eficiencia aparente de recuperación, de suelos sembrados con diferentes cultivos. 88
Tabla 31. Absorción de nitrógeno (kg/ha) para ambos suelos en cada tratamiento. 89
Tabla 32. Datos calibración tanque evaporímetro tipo A. 100
Tabla 33. Necesidades hídricas primera fase del cultivo después del trasplante. 101
Tabla 34. Necesidades hídricas segunda fase del cultivo después del trasplante. 102
Tabla 35. Necesidades hídricas tercera fase del cultivo después del trasplante. 103
Tabla 36. Valores prueba de retención de líquido Unidad experimental. 104
Tabla 37. Cantidad de fertilizante aplicada por cada tratamiento. 105
Tabla 38. Cálculo proporción enmienda órgano mineral suelo ácido 105
Tabla 39. Cálculo proporción enmienda órgano mineral suelo básico. 106
Tabla 40. Valores de altura de la planta para ambos suelos. 106
Tabla 41. Valores del número de hojas para ambos suelos. 107
Tabla 42. Valores del peso seco aéreo para ambos suelos. 107
Tabla 43. Valores del porcentaje de materia seca aérea y radicular para ambos suelos. 108
Tabla 44. Valores del porcentaje de nitrógeno foliar y el nitrógen**o** absorbido por hectárea para ambos suelos. 108
Tabla 45. Valores de pH para ambos tipos de suelo. 109
Tabla 46. Valores de la conductividad eléctrica para ambos suelos. 110
Tabla 47. Valores de la capacidad de intercambio catiónico para ambos suelos. 110
Tabla 48. Valores del porcentaje de materia orgánica para ambos suelos. 110
Tabla 49. Valores de la cantidad de amonio en el suelo, para cada tipo de suelo estudiado. 111
Tabla 50. Valores de la cantidad de nitrato en el suelo, para cada suelo evaluado. 111
Tabla 51. Valores del porcentaje de nitrógeno total en suelo, para ambos suelos estudiados. 112
Tabla 52. Valores de la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable del suelo ácido. 113
Tabla 53. Valores de la eficiencia agronómica de recuperación para ambos suelos estudiados. 113
Tabla 54. Valores de la eficiencia aparente de recuperación para ambos suelos estudiados. 114

Tabla 55. Promedio y error estándar de las variables del cultivo, para ambos tipos de suelo. 115
Tabla 56. Promedio y error estándar de las variables del suelo de ambos suelos usados en la investigación. 115
Tabla 57. Promedio y error estándar de la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable para el suelo ácido.....116
Tabla 58. Resumen anova variables del cultivo en el suelo ácido. 116
Tabla 59. Resumen anova variables del suelo, medidas en el suelo ácido. 117
Tabla 60. Resumen anova índices de fertilización nitrogenada en el suelo ácido. 118
Tabla 61. Resumen anova de las variables del cultivo medidas en el suelo básico. 118
Tabla 62. Resumen anova variables del suelo, medidas en el suelo básico. 119
Tabla 63. Resumen anova, índices de fertilización nitrogenada medidos en el suelo básico. 119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del nitrógeno en el suelo y su relación con los compartimentos orgánicos y minerales (Cerón y Aristizabal, 2012). 20
Figura 2. Localización del experimento (Adaptado de Google maps y Alcaldia de Yumbo, 2017). 34
Figura 3. Diseño final de la unidad experimental 36
Figura 4. Esquema establecimiento del experimento. 37
Figura 5. Distribución de los tratamientos en mesas ubicadas en la granja experimental. 39
Figura 6. Distribución de los tratamientos en la granja experimental (mesa 1, 2 y 3 respectivamente). 39
Figura 7. Proceso de medición de variables de respuesta del material vegetal. 41
Figura 8. Tanque evaporímetro tipo A usado en el experimento. 43
Figura 9. Plagas y enfermedades observadas en el cultivo. 45
Figura 10. Calibración tanque evaporímetro. 47
Figura 11. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la altura de Estevia (*Stevia rebaudiana B*.) cultivada en dos tipos de suelo. 50
Figura 12. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el número de hojas de Estevia (*Stevia rebaudiana B*.) cultivada en dos tipos de suelo. 51
Figura 13. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el peso seco aéreo de Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* cultivada en dos tipos de suelo 52
Figura 14. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de materia seca aérea de Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* cultivada en dos tipos de suelo. 53
Figura 15. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de materia seca radicular de Estevia (*Stevia rebaudiana B*.) cultivada en dos tipos de suelo. 54
Figura 16. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de nitrógeno foliar de Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* cultivada en dos tipos de suelo. 54
Figura 17. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de materia orgánica del suelo. 55
Figura 18. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. 56
Figura 19. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de nitrógeno total del suelo. 57
Figura 20. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la conductividad eléctrica (CE) del suelo. 59
Figura 21. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el pH del suelo. 60
Figura 22. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable del suelo ácido. 60
Figura 23. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la eficiencia de agronómica de recuperación (EA). 61

Figura 24. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la eficiencia aparente de recuperación (ER). 62
Figura 25. Efecto del abono sintético en el número de hojas y el PSA de la Estevia en cada tipo de suelo. 63
Figura 26. Efecto del abono sintético en el porcentaje de nitrógeno foliar y en la capacidad de intercambio catiónico de cada suelo. 64
Figura 27. Efecto del tipo de suelo en el número de hojas, el porcentaje de nitrógeno foliar, el peso seco aéreo y en la eficiencia aparente de recuperación. 65
Figura 28. Correlaciones entre las variables medidas en el suelo ácido. 120

RESUMEN

El nitrógeno (N), es considerado el elemento más importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas y se encuentra en mayor proporción que otros nutrientes, su uso desmedido genera pérdidas que contribuyen al deterioro del medio ambiente, por lo que se buscan alternativas para mitigar estos impactos ambientales, mejorando las características de los cultivos. Entre estas alternativas se encuentran las enmiendas órgano minerales (OM). El objetivo de la investigación, fue evaluar la aplicación de OM en la lixiviación de nitratos y en las características agronómicas de *Stevia rebaudiana* sembrada en dos suelos (ácido y básico). Se realizó un experimento completamente al azar con tres repeticiones y siete tratamientos para cada suelo, combinando OM con dos fertilizantes (Urea y Fertilizante de liberación lenta (FLL)) en proporciones de 100%, 75%, 50%; como complemento a la fertilización nitrogenada de 150 kg N/ha. Se evaluaron variables del cultivo (nitrógeno foliar (NF), número de hojas, rendimiento, entre otras), del suelo (CIC, nitrógeno total (NT), entre otras) e índices de fertilización nitrogenada. Los mejores resultados se dieron con FLL-OM en proporción de 75%-25% respectivamente, para el número de hojas, el peso seco aéreo, rendimiento del cultivo, CIC, pH y eficiencia aparente de recuperación, en el suelo ácido. En el suelo básico se encontraron diferentes resultados, mostrando que la combinación de FLL-OM en proporción de 75%-25%, fue mejor para el NF y la eficiencia aparente de recuperación, la combinación de Urea-OM (75%-25%) fue mejor para el peso seco aéreo, rendimiento y pH.

ABSTRACT

Nitrogen (N) is considered the most important element for the growth and development of plants and is found in greater proportion than other nutrients, its excessive use generates losses that contribute to the deterioration of the environment, for which alternatives are sought for mitigate these environmental impacts, improving the characteristics of the crops. Among these alternatives are mineral organ amendments (MO). The objective of the research was to evaluate the application of MO in the leaching of nitrates and in the agronomic characteristics of *Stevia rebaudiana* sown in two soils (acid and basic). A completely randomized experiment was carried out with three repetitions and seven treatments for each soil, combining MO with two fertilizers (Urea and Slow Release Fertilizer (SRF)) in proportions of 100%, 75%, 50%; as a complement to the nitrogen fertilization of 150 kg N / ha. Variables of the crop (foliar nitrogen (FN), number of leaves, yield, among others), soil (CEC, total nitrogen (TN), among others) and nitrogen fertilization indexes were evaluated. The best results were obtained with SRF-MO in a proportion of 75% -25% respectively, for the number of leaves, aerial dry weight, crop yield, CEC, pH and apparent recovery efficiency, in the acid soil. In the basic soil different results were found, showing that the combination of SRF-MO in a proportion of 75% -25%, was better for the FN and the apparent efficiency of

recovery, the combination of Urea-MO (75% -25%) was better for aerial dry weight, yield and pH.

1. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente más importante para el desarrollo de los cultivos, por lo que representa un papel muy valioso en la agricultura; a nivel mundial, el incremento en su consumo se ha evidenciado notablemente en los últimos años (FAOSTAT, 2001); sin embargo, diferentes investigaciones han reportado un aumento considerable en las pérdidas de este nutriente en los sistemas agrícolas mundiales, presentando problemáticas económicas y ambientales considerables en todo el planeta; dichas pérdidas se presentan por procesos de desnitrificación escorrentía, volatilización de amonio y lixiviación de nitratos. Las pérdidas de N suelen aumentar por las malas prácticas agrícolas, el uso desmedido del recurso hídrico, bajas eficiencias de fertilización nitrogenada, exceso de aplicaciones de fertilizantes, baja retención de nutrientes en el suelo, entre otras (Arauzo y Valladolid, 2013).

Por lo tanto, son de vital importancia estudios que evalúen alternativas para la minimización de las pérdidas de N por lixiviación en sistemas agrícolas locales y mundiales, el aumento de la eficiencia de fertilización nitrogenada y nuevas aplicaciones de diferentes fertilizantes, que disminuyan las necesidades de abonos de síntesis química, al tiempo que mantienen las características agronómicas de los cultivos en óptimas condiciones, favoreciendo al suelo.

Entre estos estudios, se evidencian aplicaciones de diferentes materiales (orgánicos, minerales, órgano minerales) como fuentes alternativas de fertilización nitrogenada, buscando la disminución del N lixiviado, el mejoramiento en características agronómicas de los cultivos y en algunos casos el efecto en el suelo.

Este trabajo de investigación, está orientado a evaluar la aplicación de enmiendas órgano-minerales mezcladas con fertilizantes nitrogenados, en las perdidas de N por lixiviación, en propiedades agronómicas del cultivo de estevia (S*tevia rebaudiana B*), y su eficiencia de fertilización nitrogenada, en dos suelos representativos del Valle del Cauca, un suelo ácido y un suelo básico.

2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El nitrógeno (N), es considerado el elemento más importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a que interviene en procesos fisiológicos esenciales (Cárdenas et al., 2004) y se encuentra en mayor proporción que otros nutrientes (1% a 3% con respecto a su materia seca). Cumple funciones de tipo estructural y osmótico, relacionadas con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides, representando un papel importante en la retención de agua, ya que hace parte de la regulación del potencial osmótico del suelo (osmoregulación) función considerada tanto o más importante que la de nutrición (Cárdenas et al., 2004).

Debido a la importancia del N en la agricultura, a nivel mundial el incremento en su consumo se ha evidenciado notablemente en los últimos años (36% en los últimos veinte años y 122% en los países subdesarrollados) (FAOSTAT, 2001), bajo la premisa de "aumento en los aportes, igual a aumento en la producción", supuesto que ha tenido costos económicos y ambientales importantes; sumado a esto, las bajas eficiencias en la aplicación de fertilizantes y la pérdida de N principalmente por procesos de lixiviación, representan una problemática ambiental y económica relevantes a nivel mundial.

Para el año 2010 los principales productores de fertilizantes nitrogenados se situaban en las regiones de Asia Oriental, Europa Oriental y Asia Central con un 50% de la producción mundial; los países más importantes en la producción de este nutriente en dicho año fueron China, India y Rusia, debido a la infraestructura y reservas de materia prima para su producción. Durante este mismo año, Colombia importó 80.000 toneladas de estos productos de países como Rusia, Ucrania y algunos de Latinoamérica como Venezuela y Trinidad y Tobago (DANE, 2012), evidenciando la importancia de los fertilizantes nitrogenados para el desarrollo y sostenimiento de la agricultura mundial y nacional, y el costo económico que representa para el país.

La eficiencia en las aplicaciones de N en agroecosistemas es considerada baja (alrededor del 50%) (Hirel et al., 2011), atribuida principalmente a pérdidas por volatilización y lixiviación, solo una parte del N del suelo es aprovechado por las plantas, mientras que, el N residual permanece en capas más profundas, representando una pérdida importante, puesto que no puede ser alcanzado por el cultivo.

Debido a esto, la fertilización nitrogenada puede provocar contaminación de acuíferos por la lixiviación de los nitratos excedentes, ya que la presencia de nitratos en la solución del suelo predispone al proceso de lixiviación ante un evento pluviométrico importante (Galloway et al., 2008). Por lo tanto, elevadas dosis de N aplicadas a suelos permeables con balance hídrico positivo, favorecen el proceso de lixiviación (Civeira y Rodríguez, 2011).

En Colombia, la eficiencia de aplicación puede verse comprometida puesto que sólo el 40% de los productores colombianos realizan aplicaciones de N con base en análisis de suelos; cabe resaltar que sumado a esto, el exceso de N en el suelo genera acidificación, pérdida de materia orgánica, alterando la estructura del suelo e incrementando los costos de producción (DANE, 2012).

En la actualidad se buscan estrategias que permitan disminuir el aporte de N a los cultivos, procurando alcanzar su máximo potencial productivo y preservar el ambiente (Cárdenas, et al 2004), al tiempo que se minimizan las pérdidas económicas.

Algunas investigaciones se han encargado de evaluar el N residual y lixiviado en el suelo con diferentes cultivos, usando combinaciones de abonos nitrogenados y minerales (enmiendas órgano minerales- OM) con el fin de disminuir el N lixiviado y residual, garantizando su disponibilidad para la planta.

También se ha buscado mitigar los impactos ambientales negativos que produce la lixiviación de N, a partir de la aplicación de abonos, que no sean agresivos al suelo ni que puedan provocar deterioro de las condiciones del mismo, constituyendo una fuente importante de nutrientes, que permita el desarrollo y estabilidad de los cultivos, manteniendo, e incluso aumentando sus rendimientos, al tiempo que favorecen las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Estudios con minerales de arcilla como las zeolitas, han demostrado que la aplicación de enmiendas OM favorece las condiciones del suelo, mejoran el desarrollo del cultivo, y en algunos casos, reduce hasta en un 70% el uso de fertilizantes químicos (Civeira y Rodríguez, 2011). Sin embargo, son pocas las investigaciones en las cuales se utilicen minerales de arcilla como la Montmorillonita (Bentonita), como constituyente de una enmienda OM aplicada en cultivos, con el fin de observar su efecto en el aporte de nutrientes (especialmente N), en las propiedades agronómicas de la planta y en las características físico-químicas del suelo. Por lo que, la presente investigación, utilizó la montmorillonita, como el mineral de arcilla constituyente de la enmienda OM aplicada al cultivo.

Por otro lado, el desarrollo de cultivos de plantas aromáticas en los últimos años, representa una cadena importante en las exportaciones no tradicionales del país, por lo que es primordial el conocimiento de parámetros esenciales para un adecuado manejo de la relación suelo-planta-fertilizante-agua en el cultivo.

La estevia o stevia (*Stevia rebaudiana B.*), es una planta perteneciente a las aromáticas utilizada como endulzante natural con cero calorías, alternativo al azúcar y a los endulzantes artificiales, originaria de Brasil y Paraguay; su extracto puro contiene un glucósido llamado steviósido cuyo poder edulcorante en estado puro y

cristalino es 300 veces mayor que el de azúcar de caña, siendo el edulcorante de origen natural único en el mundo con estas características.

La estevia es considerada un cultivo relativamente nuevo en el Valle del Cauca, cuenta con pocos estudios de manejo, fertilización, genotipos, requerimientos hídricos y nutricionales, en general, limitando su producción sostenible y eficiente (Jurado y Torres, 2013).

En el Valle del Cauca, según la Secretaría del Medio Ambiente, Agricultura, Seguridad Alimentaria y Pesca del Valle del Cauca (2016), para el año 2013 se registró un total de 72,9 hectáreas sembradas de cultivos aromáticos (entre ellos la estevia), que representó un total de 18,45% en la categoría de “otros cultivos” sembrados en el Valle del Cauca; además, durante el mismo año, se reportó una producción total de 439 ton y un rendimiento de 6,29 ton/ha; rendimientos considerables y que se encuentran en aumento, respecto a otros años.

Por lo tanto, el siguiente trabajo de investigación, se fundamentó en la evaluación del efecto de la aplicación de enmiendas órgano-minerales en la lixiviación de N y en propiedades agronómicas del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B*) en un suelo ácido y un suelo básico del Valle del Cauca.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 Marco Teórico

3.1.1 Dinámica del Nitrógeno (N) en el suelo

La dinámica del N en la biosfera comprende principalmente la fijación, la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio (annamox), procesos mediados principalmente por microorganismos presentes en el suelo. El N entra en la biosfera por fijación química y biológica del N molecular (N_2) y se remueve de la misma por desnitrificación (Figura 1.) (Cerón y Aristizabal, 2012).

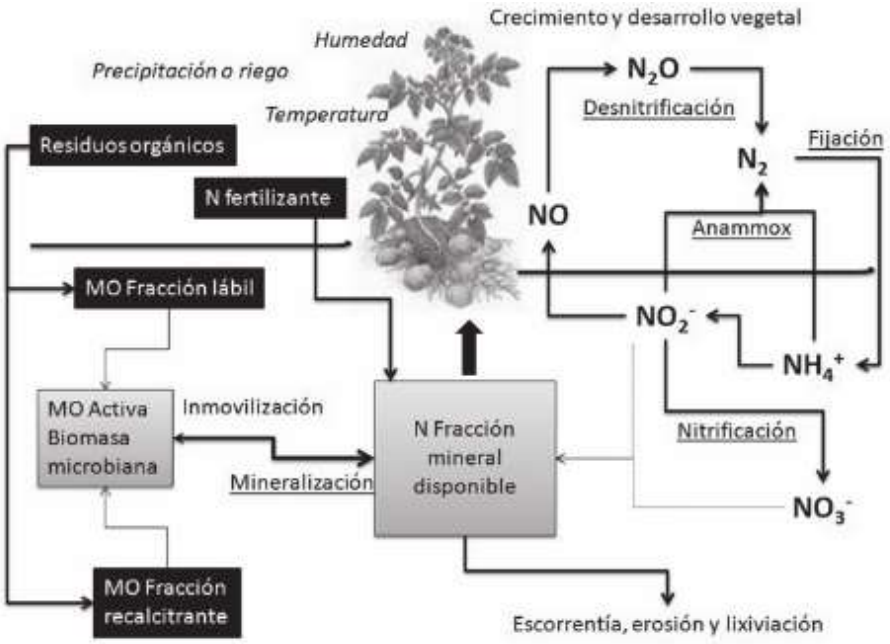

Figura 1. Ciclo del nitrógeno en el suelo y su relación con los compartimentos orgánicos y minerales (Cerón y Aristizabal, 2012).

En la figura 1 se muestra el ciclo del N; los recuadros negros corresponden a las entradas al sistema, los grises a las fracciones disponibles y donde no hay recuadro se refiere a los procesos y factores que tienen influencia en la disponibilidad del N para las plantas.

La FBN (fijación biológica del nitrógeno) es un proceso exclusivo de algunos microorganismos procariotas para usar el N del aire (N_2) y reducirlo a amoniaco con ayuda de la enzima nitrogenasa, para la síntesis de proteínas. De acuerdo con el mecanismo bioquímico, para obtener la energía que les permita fijar el N_2 existen bacterias fotoautotróficas, quimiolitotróficas y heterotróficas de vida libre en el suelo,

asociadas o en simbiosis con las hojas y/o raíces de plantas (IDAE, 2007). En este proceso, las bacterias reducen el N_2 a amonio (NH_4^+) el cual es exportado al tejido vegetal para su asimilación en proteínas y otros compuestos nitrogenados complejos.

Los cultivos no sólo utilizan el N que se aporta con los fertilizantes, sino que son capaces de aprovechar el que ya está en el suelo. Sin embargo, la mayor parte del N que se encuentra en el suelo está en forma orgánica y para que sea aprovechable debe transformarse a forma mineral, proceso conocido como mineralización y que generalmente es muy lento; la mineralización (también de reorganización y humificación), posibilita la transformación de materia orgánica no estable hacia sus componentes minerales, entre ellos el N. Este proceso es determinante para la disponibilidad del N en los ecosistemas terrestres, principalmente por la degradación de la materia orgánica. De este modo, un suelo suministra N de forma natural a las plantas, en diferentes cantidades, dependiendo de su riqueza en materia orgánica y otros factores (IDAE, 2007).

La nitrificación es el proceso que consiste en la oxidación secuencial del amonio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-), atribuido principalmente a las bacterias quimiolitoautotróficas oxidantes del amonio (BOA), caracterizadas en numerosos ecosistemas terrestres (Cerón y Aristizabal, 2012). Básicamente la nitrificación consiste en un proceso aeróbico microbiano relativamente constante en los ecosistemas; en él, el amonio se oxida primero a nitrito y posteriormente a nitrato; en este proceso de oxidación de amonio a nitrito se puede producir y liberar NO_2^- a la atmósfera, por lo que la disponibilidad de amonio y oxígeno son los factores más importantes que controlan la nitrificación del suelo (Ortuzar, 2007).

La desnitrificación, por el contrario, es un proceso anaeróbico en el que el carbono orgánico se utiliza como fuente de energía y el nitrato como oxidante, reduciéndose a los compuestos gaseosos nitrogenados finales N_2O y N_2. Así, los principales factores que controlan la desnitrificación biológica son la presencia de oxígeno, la disponibilidad de carbono, de nitrato y de otros óxidos de N (Ortuzar, 2007). La desnitrificación es el proceso más importante para el ciclo del N, éste devuelve el N fijado a la atmósfera por procesos de respiración microbiana, a través de la reducción desasimilatoria de NO_3^- y NO_2^- a N_2O y N_2 respectivamente; también involucra la reducción asimilatoria del NO_2^- para convertirlo en amonio e incorporarlo al metabolismo celular (Cerón y Aristizabal, 2012).

Finalmente, a la oxidación del amonio a nitrito le sigue la oxidación de nitrito a nitrato, proceso mediado por bacterias oxidantes de nitrito (BON). La oxidación biológica del amonio en condiciones anaeróbicas se lleva a cabo por las bacterias denominadas ANAMMOX.

En resumen, en el ciclo del N se puede observar que las principales salidas de N del suelo, son la extracción por parte de la planta y las pérdidas por volatilización de

amoníaco, escorrentía, lixiviación de nitrato y en forma gaseosa por desnitrificación. Las plantas pueden tomar a través de las raíces tanto nitrato como amonio. El nitrato es absorbido mediante transportadores de alta y baja afinidad y se almacena en vacuolas para posteriormente ser reducido a amonio en la raíz y/o transportado por el xilema a la parte aérea de las plantas (Ortuzar, 2007).

El ion NH_4^+ es retenido en el suelo por las cargas negativas de las arcillas; sin embargo, si el pH del suelo aumenta, el equilibrio existente entre el NH_4^+ y el NH_3 disuelto se desplaza hacia la forma de NH_3, de este modo, se puede dar una pérdida de amoníaco hacia la atmósfera. Las pérdidas por volatilización de amoniaco aumentan con la temperatura, con valores de pH superiores a 6-7 y cuando se han realizado adiciones de residuos orgánicos al suelo (Ortuzar, 2007).

3.1.2 Lixiviación, lavado y percolado de nutrientes en el suelo

El proceso de lixiviación, también conocido como lavado, se refiere a la eliminación de materiales del suelo en solución, siendo responsable de la evacuación de las bases de los suelos que se desarrollan en climas muy húmedos, donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración, con lo cual queda un excedente de agua que se mueve a través del suelo y que consecuentemente se lava. En Colombia es un proceso muy activo en los suelos de la Amazonia y la Orinoquia, donde ha contribuido a generar los Oxisoles y Ultisoles, así como los Inceptisoles desaturados que hay en aquellas regiones; también se manifiesta en los Inceptisoles y Andisoles de las cordilleras y en los suelos de la costa pacífica (Jaramillo, 2002).

La lixiviación o lavado de nitratos en el suelo se distingue como el arrastre de los mismos por el agua del suelo que percola más abajo de la zona radicular. Las pérdidas por lixiviación pueden llegar a ser muy importantes y no sólo constituyen una pérdida de eficiencia del fertilizante nitrogenado, sino que además puede contaminar aguas subterráneas y superficiales, incrementándose generalmente en zonas húmedas provistas de drenaje (Oyarzun, 2010).

La percolación se refiere al flujo del agua o de otro líquido a través de los poros o intersticios de una capa permeable, pudiendo o no llenar el líquido los poros de los materiales granulosos más o menos finos, que rellenan el medio filtrante. La percolación, básicamente es el proceso de filtración del agua a las capas someras del terreno, es decir, el movimiento del agua a través del suelo (Torres, 2006).

Estos procesos son importantes en las pérdidas de N en el suelo, puesto que debido a eventos pluviométricos significativos (altas precipitaciones o aplicaciones de grandes láminas de agua de regadío), se pueden generar pérdida de los componentes nitrogenados en el suelo, contaminando las aguas subterráneas.

El transporte de nitratos a través del perfil del suelo se encuentra influenciado no solo por las propiedades del mismo y dosis de fertilización, sino también por el tipo de cultivo y la aplicación de riego. En suelos con contenidos importantes de arenas finas o limos, se evidencian las mayores pérdidas de N bajo riego. La presencia de suelos con textura gruesa y sin horizontes que limiten el movimiento del agua del suelo, tienen condiciones favorables para la migración de nitratos en profundidad (Oyarzun, 2010).

Está demostrado que la cantidad de nitrato aumenta de manera importante con el caudal del agua de riego, para un mismo aporte de fertilizante nitrogenado. El regadío puede facilitar la contaminación nítrica del agua mediante el movimiento de las aguas aportadas, tanto en sentido vertical desde la superficie a los estratos más profundos (lixiviación), como por escorrentía superficial (lavado) (Oyarzun, 2010). El nitrato es soluble en agua y sólo es retenido por la fase sólida del suelo mientras lo sea el agua, por lo que puede lixiviarse fácilmente y alcanzar las capas de agua subterránea pudiendo permanecer allí por décadas (Oyarzun, 2010).

En suelos dejados sin cultivar por algún tiempo (barbecho), los nutrientes liberados en la solución del suelo se acumulan. Esto ocurre en particular con el nitrógeno derivado de la descomposición de la materia orgánica. Este puede tener un efecto ambiental negativo, dado que, en suelos con textura ligera, y bajo condiciones de humedad, la mayor parte del nitrógeno acumulado sería lixiviado (arrastrado) al agua de superficie (o se perdería debido a la desnitrificación); el potasio acumulado puede también perderse por lixiviación. El proceso de la adsorción de los nutrientes y la liberación en la solución del suelo es muy importante. En particular la diferencia en la fuerza de adsorción de los cationes y aniones tiene una influencia importante en cómo y cuándo aplicar fertilizantes (en particular fertilizantes nitrogenados) a fin de recibir la mayor eficiencia y evitar la contaminación por lixiviación (FAO, 2002).

3.1.3 Abonos y Fertilizantes: Fertilizantes de liberación lenta

Los fertilizantes y abonos son considerados indispensables para el desarrollo de las plantas, puesto que pueden suplir la demanda de nutrientes que el suelo no le puede aportar por completo a los cultivos. Los fertilizantes agrícolas consisten en una mezcla de compuestos de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), elementos considerados como los macronutrientes básicos de las plantas. También hay fertilizantes compuestos de elementos secundarios como el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg) y el Azufre (S) y de otros elementos denominados menores (CONPES 3577, 2009).

Se considera abono, a cualquier “fertilizante natural” hecho de materia orgánica vegetal o animal, que se puede utilizar para fertilizar cultivos, ya que aporta gran cantidad de nutrientes al suelo, mientras que un fertilizante es cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos 5% de uno o más de los nutrientes

primarios (N, P, K). Los fertilizantes fabricados industrialmente son llamados fertilizantes minerales o de síntesis química (FAO, 2002).

Los fertilizantes que contienen sólo un nutriente primario son denominados fertilizantes simples; aquellos que contienen dos o tres nutrientes primarios son llamados fertilizantes compuestos, algunas veces también fertilizantes binarios (dos nutrientes) o ternarios (tres nutrientes) (FAO, 2002).

Los productos que se venden en el mercado pueden ser fertilizantes simples inorgánicos que contienen un sólo elemento mayor, entre los que destacan por su uso generalizado la urea, el fosfato diamónico (DAP) y el cloruro de potasio (KCl). Por otro lado, se encuentran fertilizantes compuestos inorgánicos, que contienen más de un elemento mayor o menor, de los cuales hay en el mercado una enorme variedad en términos de su composición, concentración y formulación (CONPES 3577, 2009). En el mundo se producen anualmente unos 400 millones de toneladas de fertilizantes, siendo el segmento dominante el mercado de fertilizantes simples nitrogenados, fosfóricos y potásicos.

La fabricación de fertilizantes minerales (simples o compuestos), se lleva a cabo por medio de la síntesis Haber-Bosch, que utiliza altas temperaturas y presiones para combinar el hidrógeno (H_2) y el N_2 produciendo amoniaco (NH_3) con ayuda de un catalizador; el proceso anual de síntesis de 500 millones de toneladas de fertilizantes artificiales, consume el 1% de los suministros mundiales de energía y adicionalmente, sus impactos sanitarios y ambientales, producto de la liberación de NH_3, se han hecho evidentes desde finales del siglo pasado (Estupiñan y Quesada, 2010).

Antes del descubrimiento del proceso de Haber-Bosch (síntesis química de amoniaco) a principios del siglo XX, se consideraba que la fijación biológica de N proporcionaba casi exclusivamente la entrada de este elemento en la biósfera. Se estima que la fijación biológica contribuye globalmente con 180 millones de toneladas métricas de amonio por año y que el aporte actual de N antropogénico es comparable con el aporte biológico (Cerón y Aristizabal, 2012).

Por otro lado, los principales abonos orgánicos provienen de residuos vegetales, estiércol de animales y mezclas de ellos, por lo que tiene restricciones para su uso en fresco, debido a que pueden contener fitotoxinas, patógenos, semillas de malezas, sales o por poseer calor latente, pobreza en nutrimentos y olores desagradables. El proceso mediante el cual los residuos orgánicos se tornan aptos para su empleo como abonos, se denomina habilitación; dentro de este término se incluyen los procesos de compostaje, vermicompostaje, acolchados, entre otros (CONPES 3577, 2009).

El abono orgánico es muy valioso para el suelo porque mejora sus condiciones en general. La materia orgánica aportada por éste, tiene efectos positivos en la

estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, regula la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad, aumentando significativamente su fertilidad. El abono orgánico a menudo crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales. La combinación de abono orgánico-materia orgánica y fertilizantes minerales (Sistema Integrado de Nutrición de las Plantas, SINP) ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, cuando el abono orgánico mejora las propiedades del suelo y el suministro de los fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan (FAO, 2002).

Entre los aportes más significativos de los abonos orgánicos, como el lombricompostaje, se encuentran cantidades amplias de N (entre1,5 y 3%) y de P (entre 0,1 y 0,2 %), por lo que contribuyen al mejoramiento de las características de los suelos, ya que la mayoría del N (98%) y el P (33-67%) que se encuentra en el suelo, se asocian con el material orgánico aportado por éste (Olivares et al. 2012). Sin embargo, la disponibilidad de los nutrientes en los abonos orgánicos no depende de su contenido total en el material, sino de la dinámica del proceso; así algunos elementos pueden llegar a estar más disponibles por efecto del pH, de la humedad y de la aireación; o en los compostajes sin lombrices, por la temperatura alcanzada que permite el desarrollo de organismos especializados.

En algunos abonos orgánicos ricos en P, este elemento puede generar problemáticas medio ambientales, a pesar de que en muchos suelos es poco móvil; en suelos alcalinos se precipita en forma de fosfatos de calcio, mientras que en suelos ácidos lo hace como fosfato de hierro (strengita) o de aluminio (variscita). Sólo cuando se ha alcanzado un valor crítico de la concentración de fósforo en el suelo éste comienza a ser exportado en cantidades importantes. Por tanto, es después de que un suelo ha recibido durante décadas fertilización fosfatada, orgánica o mineral, cuando empieza a ser fuente notable de contaminación por fósforo. En los últimos años, se ha estudiado la pérdida de P por procesos de lixiviación, sin embargo, la contaminación de aguas por fósforo de origen agrícola se produce tanto a partir del fósforo soluble del suelo como a partir del fósforo **soluble de estiércoles, purines u otras enmiendas orgánicas**, particularmente cuando éstas se aplican sobre la superficie del suelo (Fernández, 2011); sin un proceso debido de habilitación, por lo que, los fertilizantes orgánicos como el lombricompost, en combinación con minerales de arcilla (enmiendas órgano minerales), no representan un peligro significativa para la lixiviación del P.

Una de las soluciones estudiadas para minimizar las pérdidas de nitratos en el suelo, radica básicamente en la disminución de las cantidades de fertilizante mineral aportadas al cultivo, o bien en el empleo de abonos de liberación lenta; estos abonos aportan el N progresivamente, de tal forma que, si no se eliminan totalmente las pérdidas, se reducen en gran medida. Los fertilizantes de liberación lenta pueden clasificarse en tres grupos:

- **Abonos recubiertos:** son fertilizantes convencionales que se presentan en forma de gránulos envueltos en una membrana semipermeable, que está constituida por una sustancia insoluble o de baja solubilidad en agua. La disolución del fertilizante se produce de manera lenta, conforme el agua va atravesando el recubrimiento. La urea-azufre (URA), es el abono recubierto de uso más extendido.

- **Abonos de baja solubilidad:** son abonos que requieren gran cantidad de agua para su completa solubilidad, asegurando una baja concentración de N en la disolución nutritiva. Pueden utilizarse productos orgánicos e inorgánicos, destacándose la urea-formaldehído, isobutilendiurea (IBDU), crotolidediurea (CDU), oxamida, entre otras.

- **Abonos con inhibidores de la nitrificación:** las principales pérdidas de N cuando se aplican fertilizantes amoniacales y urea, se producen después de su conversión a nitratos. Existen ciertos materiales que son tóxicos para las bacterias nitrificantes y cuando se añaden al suelo, pueden inhibir temporalmente la nitrificación. Por tanto, reducen las pérdidas de nitratos por lixiviación y desnitrificación, y se aumenta el rendimiento de los fertilizantes amoniacales, así como del N amoniacal que se origina a partir de la descomposición de la materia orgánica del suelo (Oyarzun, 2010).

- **Enmiendas órgano-minerales (OM):** los fertilizantes órgano-minerales se fundamentan en el principio de que la descomposición de la masa vegetal infestada de micro y meso organismos permite la formación de humus y la liberación de sales minerales que contienen los principales nutrientes para las plantas; el humus que se produce se combina con las sales minerales o con minerales filosilicatos y tectosilicatos, lo que genera una asociación que se denomina enmienda orgánico-mineral, que se puede formar naturalmente en el suelo (Burbano, 2001).

Las principales ventajas de los fertilizantes de liberación lenta o controlada son el ahorro del laboreo (en lugar de varias aplicaciones repartidas se necesita sólo una para el período completo de crecimiento), reduciendo la toxicidad a la siembra aún con altas tasas de aplicación y ahorro de fertilizantes para una mejor **eficiencia del nitrógeno** (con el 15 al 20 % menos de nitrógeno aplicado, el mismo rendimiento ha sido obtenido como con fertilizantes nitrogenados comunes) (FAO, 2002).

Los abonos orgánicos pueden ser considerados de liberación lenta porque a pesar de tener bajos contenidos de N en comparación con un fertilizante de síntesis química, al tener que sufrir el proceso de mineralización, no brinda el N a la planta rápidamente, sino que, por el contrario, lo hace de forma gradual contribuyendo a reducir las pérdidas.

3.1.4 Eficiencia de fertilización nitrogenada

Los conceptos de uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes generalmente describen qué tan bien las plantas o un sistema de producción usan los nutrientes. La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción. Entre las expresiones más comunes de la eficiencia de los fertilizantes está la eficiencia de recuperación (ER) (Stewart, 2008). Sin embargo, la ER de un nutriente específico como el N se define a menudo como el porcentaje del nutriente recuperado en la biomasa de la planta que se encuentra sobre el suelo durante el ciclo de crecimiento (Cassman et al., 2002).

La eficiencia de N generalmente se evalúa a corto plazo, o en un solo ciclo de crecimiento, debido a la naturaleza transitoria del N inorgánico (potencial de volatilización, desnitrificación y lixiviación). Sin embargo, cuando existe potencial para elevar las reservas de C en el suelo, es más apropiado evaluar la eficiencia de N a largo plazo, debido a que, lo que afecta el balance de C, también afecta el balance de N, ya que la relación C:N del suelo suele ser constante (Stewart, 2008).

Diferentes autores han desarrollado algunas técnicas y/o métodos con el fin de calcular la eficiencia de fertilización, como es el caso de Dobermann (2007), quien desarrollo índices agronómicos de eficiencia de uso de N; estos índices han sido ampliamente usados en investigación; pocas veces se usan en sistemas donde la principal fuente de N son materiales orgánicos o la fijación biológica del N (Mosier et al., 2004). En la tabla 1 se muestran los índices agronómicos propuestos por Dobermann (2007).

Tabla 1. Índices agronómicos de eficiencia de uso de N

Término	Cálculos	Rango de N en cereales
Eficiencia aparente de Recuperación	ER = (kg de incremento en la absorción de nutriente aplicado). $ER = (U - U_0)/F$	0.3 a 0.5 kg /kg; 0.5 a 0.8 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
Eficiencia Fisiológica	EF = (kg de incremento en rendimiento kg^{-1} de nutriente absorbido) $EF= (R - R_0))/(U - U_0)$	40 a 60 kg/ kg; >50 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso en N o a bajo suplemento de N del suelo.
Eficiencia Interna de recuperación	EI = (kg de rendimiento kg^{-1} de nutriente absorbido) $EI = R/U$	30 a 90 kg/ kg; el rango óptimo es de 55 a 65 con nutrición balanceada a niveles altos de rendimiento.
Eficiencia Agronómica	EA = (kg de incremento en rendimiento kg^{-1} de nutriente aplicado) $EA= (R - R_0)/F = ER \times EF$	10 a 30 kg/ kg; >25 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N en el suelo.

Factor parcial de productividad	FPP = (kg de rendimiento kg de nutriente aplicado) FPP = R/F = (R_0/F)+EA	40 a 80 kg/kg; >60 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
R: Rendimiento del cultivo con aplicaciones de nutrientes. R_0: Rendimiento del cultivo sin aplicación de fertilizantes. F: Dosis del nutriente. U: Absorción del nutriente de la biomasa sobre el suelo a madurez fisiológica. U_0: Absorción de la planta sin aplicación de fertilizantes.		

Fuente: Dobermann (2007).

3.1.5 Estevia: Requerimientos hídricos, climatológicos y nutricionales.

La estevia o stevia (*Stevia rebaudiana B.*), es una planta perteneciente a las aromáticas utilizada como endulzante natural con cero calorías, alternativo al azúcar y a los endulzantes artificiales, originaria de Brasil y Paraguay; su extracto puro contiene un glucósido llamado steviósido cuyo poder edulcorante en estado puro y cristalino es 300 veces mayor que el de azúcar de caña, siendo el edulcorante de origen natural único en el mundo con estas características (Jurado y Torres, 2013). El estreviósido provee beneficios en el metabolismo animal y en la salud del hombre, posee propiedades anti-retrovirus, mejoramiento de la hipertensión, es usado para tratamiento de la diabetes, entre otros (Jarma et al, 2010).

En Colombia, la estevia se adapta desde los 300 hasta los 1200 msnm, con precipitaciones de 1000 y 2000 mm/año, temperaturas promedio de 26°C y humedad relativa hasta del 85%; obteniendo mejor calidad de la hoja entre climas cálidos y cálidos medios (Bonilla et al, 2007).

Según la Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano (AGRONET) (2017), el área sembrada en Colombia disminuyó de 15 hectáreas para el año 2007, hasta menos de 5 hectáreas para el año 2015, con producciones entre 10 y 50 toneladas; y rendimientos entre 1,5 y 3,4 ton/ha; los departamentos con mayor participación en la producción nacional fueron Antioquia, Valle del Cauca y Meta.

Aunque no se reportan muchos trabajos nutricionales en estevia, algunos estudios indican que la deficiencia de N en el cultivo disminuye considerablemente el tamaño de todas las partes morfológicas de la planta, principalmente de las hojas (órgano de interés comercial), de igual forma se reducen las ramificaciones, como consecuencia de la inhibición en el crecimiento de las yemas axilares (Jarma et al, 2010).

Debido a la importancia del N en la planta, algunas investigaciones han estudiado su comportamiento con la aplicación de abonos de liberación lenta (ALL), al tiempo que se han dedicado a observar la disminución de lixiviación de nitratos, encontrando reducción en la concentración y cantidad de nitratos en lixiviados al

usar ALL con respecto a fertilizantes de síntesis química; además, estos fertilizantes han mostrado bajos contenidos de N disponible para la planta por procesos lentos de solubilización y mineralización, repercutiendo en el desarrollo de éstas (Daza et al., 2015b).

En cuanto a los requerimientos hídricos, algunos estudios se han centrado en determinar el coeficiente de riego del cultivo (K_c) en condiciones climatológicas del Valle del Cauca, obteniendo inicialmente una aproximación de 1.2 (Daza et al., 2015a). Sin embargo, estudios más exhaustivos han observado que en las diferentes etapas del cultivo sus requerimientos hídricos varían, encontrando K_c para las tres fases fundamentales: establecimiento del cultivo (0-20 días), desarrollo del cultivo (21-46 días) y floración (47-70 días). Se han observado diferentes crecimientos del cultivo en los que interfiere los requerimientos hídricos: máximo crecimiento (58 días), crecimiento intermedio (59-78 días) y senescencia o final (79-96 días).

Los K_c para cada una de las etapas de crecimiento se encontraron con base en variables fisiológicas de la planta, siendo: 0.86 etapa de máximo crecimiento, 1.24 etapa intermedia de crecimiento y 0.85 etapa final de crecimiento (Daza et al., 2017).

3.2 Antecedentes

A nivel mundial se han realizado algunos estudios sobre las aplicaciones de enmiendas orgánicas, minerales y órgano-minerales (OM) como mejoradoras de las propiedades del suelo, de la planta e incluso, como sustitutos de fertilizantes de síntesis química, especialmente con el objeto de aumentar la disponibilidad y eficiencia del N en diferentes sistemas agrícolas. Algunas experiencias se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Antecedentes generales en el uso de enmiendas orgánicas, minerales y órgano-minerales en la agricultura.

Tema	Investigación	Resultado	Autor y Localización
Aplicación de enmiendas	Efecto de enmiendas orgánicas (aceite de palma, sobrantes de palma y corteza de Yuca) en propiedades fisicoquímicas de un ultisol.	Aumento en la estabilidad de agregados, en la retención de agua y en él % de Corg y % Ntotal.	Ahamefuel et al., 2015. Nsukka (Nigeria),
	Rendimiento, uso del agua y uso del nitrógeno; respuesta del arroz a la zeolita y a la fertilización nitrogenada en un ambiente semiárido.	Aumento del rendimiento de grano, mayor retención de N en el suelo y aumento de la retención de agua en el suelo, con la aplicación de 80kg/ha	Sepaskhah y Barzegar. 2010. Universidad de Shiraz de la

orgánicas y minerales, y su efecto en los suelos, cultivos y lixiviación de N.		de N y 4 ton/ha de zeolita.	República Islámica (I. R.) (Irán)
	Evaluación de la lixiviación de nitratos y de las propiedades agronómicas del maíz bajo la aplicación de zeolita surfactante modificada (SMZ) y zeolita clinoptilotita (Cp).	Disminución de la lixiviación de NO_3 en un 26% y 22% con respecto al control, aumento del N disponible y mejoramiento en propiedades agronómicas del cultivo.	Malekian et al., 2010. Universidad Tecnológica de Isfahan, Isfahan (Irán)
	Evaluación del efecto de la aplicación de zeolitas naturales en formulaciones con fertilizantes nitrogenados sobre los niveles de N residual y lixiviado en un suelo cultivado con maíz.	Incremento de la materia seca y el N disponible para la planta; aumento en la retención de humedad del suelo y reducción de la lixiviación de NO_3.	Civeira y Rodríguez, 2011. Instituto de Suelos, Buenos Aires (Argentina).
Aplicación de enmiendas órgano-minerales y su efecto en los suelos, cultivos y lixiviación de N.	Determinación del efecto de la aplicación de estiércol Bovino con zeolita y fertilizantes químicos en propiedades agronómicas del girasol (*Helianthus annuus L.*), y en la disminución de la lixiviación de nutrientes bajo dos regímenes de riego en un suelo arenoso en una región semi-árida de Irán.	La aplicación de la enmienda OM combinada con el estiércol bovino, disminuyó la lixiviación de P y de N, la enmienda de suelo, zeolita y estiércol bovino, disminuyeron la fertilización química del cultivo.	Gholamhoseini et al. 2013 Universidad Modares Tarbiat, Tehran (Irán)
	Evaluación en la aplicación de fertilizantes OM derivados de biosólidos (OMF) en la liberación y disponibilidad de N en dos tipos de suelos similares.	Aumento en la liberación y disponibilidad de N con la aplicación de OMF_{15} (15:4:4) con respecto al control y a Urea.	Antille et al., 2014a. Universidad de Cranfield, Silsoe (Inglaterra)
	Uso de zeolita natural como complemento del abonado orgánico en el cultivo de hortalizas en huertos intensivos	El uso combinado de zeolita con lombricompost en una proporción de 1:0.6, aumento el rendimiento de cultivos hortícolas e incrementó el contenido de P_2O_5, K_2O y el % de materia orgánica en un ciclo de cinco hortalizas	Chaveli et al., 2012. Granja Urbana del municipio de Camagüey (Cuba)

	Evaluación del efecto de mezclas de abonos OM sobre el cultivo del maíz en un suelo Pardo sialítico mullido no carbonatado, con diferentes mezclas de abonos orgánicos y minerales.	Mejora en las propiedades agronómicas del cultivo (contenido de N y proteína en el grano) al emplear la enmienda OM y baja disponibilidad de N para la planta en comparación con el abono orgánico.	Chaveli et al., 2013. Instituto de suelos, Camagüey (Cuba).
Aplicación de diferentes tipos de abonos nitrogenados en el cultivo de Estevia.	Efecto de diferentes aplicaciones de abonos orgánicos de origen animal en el crecimiento y rendimiento del cultivo de Estevia (*Estevia rebaudiana B*.)	Mejoras en las propiedades agronómicas del cultivo (pesos seco de hojas, peso seco de raíz y rendimiento) con la dosis de 25 ton/ha de gallinaza con respecto a las aplicaciones de Bovinaza.	Chumthong y Detpiratmongkol, 2016. Instituto de Tecnología de Ladkrabang "Rey Mongkuts", Bangkok (Tailandia)
	Efectos de la aplicación de gallinaza, fertilizantes químicos y sus combinaciones en propiedades agronómicas del cultivo.	La aplicación de gallinaza (PM) en diferentes combinaciones con fertilizantes químicos (CF) mostró efectos significativos en el crecimiento, rendimiento y contenido de esteviosido; en una dosis de 3 ton/ha de PM con 75% de CF.	Zaman et al., 2015b Departamento de Química agrícola Universidad de Bangladesh (Bangladesh)
	Evaluación de la aplicación de abonos de lenta liberación (ALL) en la lixiviación de NO_3 y en características agronómicas del cultivo	Disminución de la cantidad de NO_3 lixiviado al aplicar ALL con respecto a los fertilizantes químicos, pero, la liberación lenta del N disponible para la planta repercutió en el desarrollo del cultivo.	Daza et al., 2015b Universidad del Valle, Cali (Colombia).

Fuente: Construcción del autor.

Los diferentes estudios muestran una tendencia en la aplicación de enmiendas orgánicas, minerales y órgano-minerales como mejoradoras de propiedades del suelo, de los cultivos y reductoras de la lixiviación de nutrientes; sin embargo, no se evidencian investigaciones que evalúen la aplicación de enmiendas órgano-minerales y su efecto en la lixiviación de nutrientes en condiciones agroecológicas similares a las del Valle del Cauca. Además, es importante mencionar que los

minerales de arcilla utilizados como parte de la enmienda órgano-mineral, en la mayoría de investigaciones son de tipo zeolita-clinoptilotita, dejando de lado algunos minerales de arcilla como la montmorillonita (Bentonita), característicos de regiones como el Valle del Cauca.

Al observar las investigaciones realizadas, cabe resaltar que aún se debe estudiar los comportamientos de las enmiendas con diferentes cultivos y condiciones agroecológicas, como alternativas para disminuir las pérdidas de nutrientes, reducir la aplicación de fertilizantes de síntesis química y mejorar el desarrollo de algunas propiedades agronómicas de los cultivos, minimizando los impactos al medio ambiente.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la reducción de la lixiviación de nitrógeno (N) y en las propiedades agronómicas del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B*) sembrada en un suelo ácido y un suelo básico del Valle del Cauca.

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la mejor proporción de fertilizante: enmienda órgano mineral que reduzca la lixiviación del nitrógeno en un suelo ácido y un suelo básico sembrado con el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B*).

- Estimar el efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en propiedades agronómicas y rendimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B*) sembrado en un suelo ácido y un suelo básico del Valle del Cauca.

- Evaluar la eficiencia de la fertilización nitrogenada con el uso de enmiendas órgano minerales en el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B*).

5. METODOLOGÍA

5.1 Localización de los ensayos experimentales

El experimento se realizó en el Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA), de la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR), de la Universidad del Valle, ubicada en el municipio de Santiago de Cali (Valle del Cauca), sede Meléndez; con una altura de 979 msnm y con coordenadas latitud 3° 22’ 22.29’’ N, longitud 76° 31’ 49.22’’O (figura 2)

Figura 2. Localización del experimento (Adaptado de Google maps y Alcaldia de Yumbo, 2017).

5.2 Descripción de los suelos

En la investigación se usaron dos suelos originarios del Valle del Cauca; un suelo ácido proveniente de la vereda La Centella del municipio de Dagua, donde predominan las altas pendientes (pendientes superiores al 12% y en algunos sectores mayores al 75%) y altas precipitaciones (entre 1000 y 2000 mm/año) (Alarcón y Reyes, 2013); Inceptisol con clasificación taxonómica *Andic Dystrudepts*, característico por ser un suelo bien drenado, moderadamente profundo, ácido a extremadamente ácido, con alta saturación de aluminio y fertilidad baja.

También se utilizó un suelo básico procedente de la vereda Caucaseco del municipio de Candelaria; suelo del Valle aluvial del rio Cauca, con relieve plano de

inundación, con clasificación taxonómica *Fluventic Haplustepts*, característico por presentar textura franco arenosa en la superficie y a profundidad, moderadamente profundo, con poca pedregosidad, pH prácticamente neutro y alta fertilidad. A ambos suelos se les realizó un análisis fisicoquímico en el LASA para establecer sus características básicas. Las propiedades y métodos usados en la caracterización se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas de los suelos y sus métodos de medición. Fuente: IGAC, 2006.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS	
Propiedades Físicas	**Método**
Textura	Bouyoucos modificado
Densidad aparente	Terrón parafinado.
Densidad Real	Picnómetro
Porosidad	Calculada a partir de las densidades
Humedad a Capacidad de campo	Diferencia de pesos en el horno
Propiedades Químicas	**Método**
pH	Método potenciométrico, en agua relación 1:1
Conductividad eléctrica (CE)	Conductivimetría en extracto de saturación; en agua 1:2
Nitrógeno Total	Kjeldahl modificado
Materia orgánica	Método colorimétrico de Walkley – Black
CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio):	Acetato de amonio 1 N pH neutro y cuantificación por volumetría y absorción-emisión atómica
P (Fósforo)	Bray II

5.3 Descripción de la enmienda órgano-mineral (lombricompost y montmorillonita)

En la investigación se usaron lombricompost y montmorillonita cálcica (Bentonita) como materiales para la enmienda organomineral; ambos obtenidos del mercado local; el lombricompost tuvo como base residuos de cosecha y estiércol bovino. Se realizaron análisis fisicoquímicos en el LASA a los componentes de la enmienda, para establecer sus características básicas. Las propiedades analizadas y el método utilizado se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Propiedades físicas y químicas de los componentes de la enmienda órgano-mineral y sus métodos de medición. Fuente: IGAC, 2006.

Tipo de propiedad	Propiedad	Método
Física	Humedad (%)	Diferencia de pesos en el horno
Químicas	pH	Método potenciométrico, en agua relación 1:1
	Conductividad eléctrica (dS/m)	Conductivimetría en extracto de saturación; en aguas 1:2
	Nitrógeno Total (%)	Kjeldahl modificado

	Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100g de suelo)	Acetato de amonio 1 N pH neutro y cuantificación por volumetría y absorción-emisión atómica
	Materia Orgánica (%)	Método colorimétrico de Walkley – Black

5.4 Establecimiento del experimento

Para llevar a cabo la instalación del experimento se secaron y tamizaron los suelos por un tamiz de 2mm, disponiendo un total de 5.5 kg de cada tipo de suelo en las respectivas unidades experimentales.

Las unidades experimentales se construyeron con una maceta de 24 cm de diámetro interno y 40 cm de altura, compuestas por un lisímetro en la parte lateral inferior de cada una, además de contener en su interior una inclinación hecha en poliestireno expandido para conducir el lixiviado hacia el lisímetro, seguida de una capa de malla de fibra de vidrio de 2 mm, una capa de grava de 5 cm de espesor y 5.5 kg de suelo respectivamente.

Cada lisímetro se conectó directamente a un recipiente recolector de lixiviados color ámbar por medio de una manguera; a su vez cada recipiente recolector fue dispuesto en un cilindro de plástico respectivamente tapado, con el fin de disminuir las pérdidas por volatilización o por lixiviación (figura 3).

Figura 3. Diseño final de la unidad experimental

Finalmente, las unidades experimentales se situaron en mesas de madera de forma aleatoria en el invernadero de la granja experimental y se saturaron los suelos, dejándolos drenar durante 24 horas. Posterior al drenaje, se aplicaron los fertilizantes correspondientes a cada tratamiento, aquellos tratamientos que contenían urea se adicionaron al suelo 5 días antes del trasplante de las plántulas y los fertilizantes restantes fueron adicionados 2 días antes, manteniendo el suelo

entre un agotamiento máximo de 20% por debajo de capacidad de con ayuda de un TDR (Reflectometría de dominio temporal, por sus siglas en inglés) (figura 4).

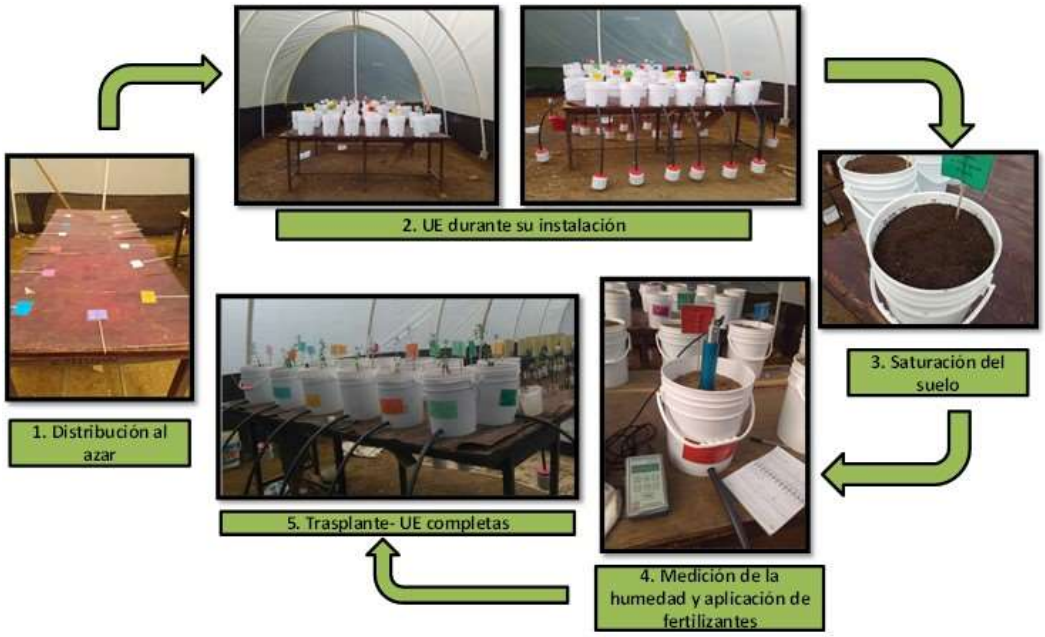

Figura 4. Esquema establecimiento del experimento.

5.5 Diseño experimental

El diseño experimental consistió en un diseño bifactorial completamente al azar con un solo sistema de producción de estevia, compuesto por siete tratamientos y tres replicas por tratamiento para cada tipo de suelo (suelo ácido y suelo básico), para un total de 42 unidades experimentales (UE). Los factores correspondieron al suelo y a la mezcla de fertilizantes nitrogenados con enmienda órgano-mineral (OM) en diferentes proporciones, con 6 niveles de variación y un testigo, manteniendo una dosis de 150 kg de N/ha según lo establecido por Rios (2016) en condiciones del Valle del Cauca; y una distancia de siembra de 15 cm entre cada UE.

Los fertilizantes nitrogenados utilizados en el experimento fueron urea y fertilizante de liberación lenta (FLL). La urea se usó, debido a que es el fertilizante nitrogenado de síntesis química más utilizado en el territorio nacional; el FLL correspondió a urea recubierta de azufre (URA) (40% de N y 6% de S). La enmienda órgano-mineral consistió en una mezcla entre el mineral de arcilla montmorillonita y lombricompost (45% montmorillonita y 55% lombricompost). Los tratamientos, fueron establecidos manteniendo una dosis de fertilización nitrogenada de 150 kg N/ha equivalente al 100% de la fertilización ó 0,678 g de N/UE (Tabla 5).

Tabla 5. Tratamientos establecidos en la investigación.

Composición tratamientos				Cantidad de cada fertilizante		
Tipo de suelo	Tratamiento	Proporción del fertilizante	Proporción de enmienda OM*	Fertilizante (g/UE)	Enmienda OM (g/UE)	
					L***	M****
Ácido	AT1 (Testigo)	0%	0%	0	0	0
	AT2	Urea 100%	0%	1,470	0	0
	AT3	Urea 75%	25%	1,100	0,093	0,076
	AT4	Urea 50%	50%	0,737	0,186	0,153
	AT5	FLL** 100%	0%	1,695	0	0
	AT6	FLL 75%	25%	1,271	0,093	0,076
	AT7	FLL 50%	50%	0,848	0,186	0,153
Básico	BT1 (Testigo)	0%	0%	0	0	0
	BT2	Urea 100%	0%	1,470	0	0
	BT3	Urea 75%	25%	1,100	0,093	0,076
	BT4	Urea 50%	50%	0,737	0,186	0,153
	BT5	FLL 100%	0%	1,695	0	0
	BT6	FLL 75%	25%	1,271	0,093	0,076
	BT7	FLL 50%	50%	0,848	0,186	0,153

*OM: Enmienda órgano-mineral compuesta por un 55% de Lombricompost y 45% Montmorillonita.
** FLL: Fertilizante de liberación lenta, urea recubierta de azufre 40% de N y 6% de S
***L: Lombricompost ****M: Montmorillonita.

Las unidades experimentales se situaron completamente al azar en tres mesas ubicadas de forma horizontal, con capacidad de soportar 14 UE por cada mesa. Cada tratamiento se caracterizó con un color (tabla 6) y la distribución general de todos los tratamientos en el espacio se realizó de acuerdo a las figuras 5 y 6.

Tabla 6. Identificación de cada tratamiento.

Tipo de suelo	Tratamiento	Proporción del fertilizante	Proporción de enmienda OM	Color de identificación
Acido	AT1 (Testigo)	0%	0%	
	AT2	Urea 100%	0%	
	AT3	Urea 75%	25%	
	AT4	Urea 50%	50%	
	AT5	FLL 100%	0%	
	AT6	FLL 75%	25%	
	AT7	FLL 50%	50%	
Básico	BT1 (Testigo)	0%	0%	
	BT2	Urea 100%	0%	
	BT3	Urea 75%	25%	
	BT4	Urea 50%	50%	
	BT5	FLL 100%	0%	
	BT6	FLL 75%	25%	
	BT7	FLL 50%	50%	

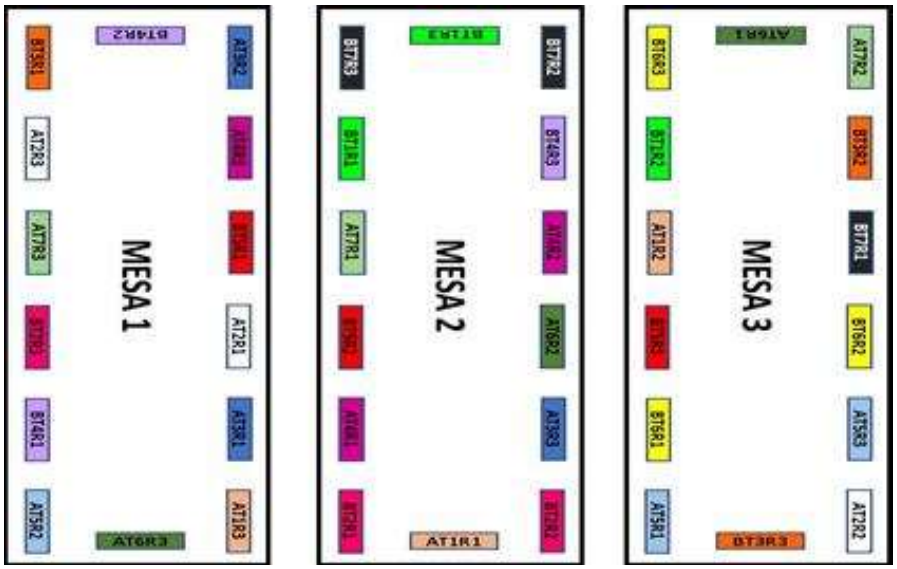

Figura 5. Distribución de los tratamientos en mesas ubicadas en la granja experimental.

Figura 6. Distribución de los tratamientos en la granja experimental (mesa 1, 2 y 3 respectivamente).

Todas las UE fueron homogéneas, expuestas a las mismas condiciones (temperatura, evaporación, riego, entre otras); el trasplante de las plántulas se realizó al mismo tiempo para todas las UE, estableciendo un período de duración del experimento de 87 días (contados desde el día 0 día de trasplante, hasta el día 86 día de muestreo destructivo), en el día 86 después del trasplante se realizaron los muestreos respectivos a cada UE para la medición de cada una de las variables.

Es importante resaltar que el trasplante de las plántulas se realizó el día 21 de octubre de 2016 (día cero), y el día 27 de octubre de 2016 (día 6) se hizo una resiembra de algunas UE que no tuvieron éxito en el primer trasplante (tabla 7), sin

embargo, todas las UE terminaron su ciclo productivo el día 86 después del primer trasplante, sin importar si fueron o no resembradas.

Tabla 7. Unidades experimentales resembradas a los 6 días después del primer trasplante.

Tipo de suelo	Tratamiento y replica	Localización
Ácido	AT1R2	Mesa 3
	AT2R3	Mesa 1
	AT4R2	Mesa 2
	AT7R3	Mesa 1
Básico	BT1R3	Mesa 2
	BT2R1	Mesa 2
	BT3R2	Mesa 3
	BT3R3	Mesa 3
	BT5R2	Mesa 2
	BT7R1	Mesa 3
	BT7R2	Mesa 2

5.6 Variables de respuesta

Las variables de respuesta establecidas en el experimento se dividieron en variables de respuesta medidas en el lixiviado, en el cultivo, en el suelo, y dos índices de fertilización nitrogenada, los índices de eficiencia agronómica y eficiencia aparente de recuperación propuestos por Dobermann (2007); sin embargo, debido a que durante los 87 días de duración del experimento no se presentaron lixiviados, entonces las variables de respuesta medidas fueron divididas como se muestra en la tabla 8, es decir, no se tuvieran variables de respuesta para lixiviados.

Tabla 8. Variables de respuesta del experimento.

Tipo de variable	Variable	Método de medición
Variables del cultivo	Altura	Medida desde la superficie del suelo hasta su altura máxima
	Número de hojas	Conteo de hojas
	Peso seco aéreo	Secado en el horno a 70°C durante 24h
	Porcentaje de materia seca aérea	Comparación de pesos, después de secado durante 24h a 70°C
	Porcentaje de materia seca radicular	
	Nitrógeno foliar	Kjeldahl modificado
Variables del suelo	Porcentaje de materia orgánica	Walkley Black
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Acetato de amonio 1N, pH neutro y cuantificación por volumetría
	Porcentaje de nitrógeno total	Kjeldahl modificado
	Nitrato (NO^{-3})	
	Amonio (NH^{+4})	
	Conductividad eléctrica (CE)	Conductivimetría en extracto de saturación en aguas 1:2
	pH	Método potenciométrico en agua.

	Acidez intercambiable y aluminio intercambiable (solo para el suelo ácido)	Lavado con KCl 1 N y titulación con NaOH
Índices de eficiencia de fertilización nitrogenada	Eficiencia agronómica de recuperación (EA)	Calculo de ecuaciones propuestas por Dobermann (2007)
	Eficiencia aparente de recuperación (ER)	

Todas las variables de respuesta se midieron al finalizar el experimento (86 días después del trasplante), y fueron mediciones destructivas. Todas las pruebas que implicaron manejo de material vegetal se realizaron al mismo tiempo, de manera aleatoria, con los mismos protocolos e instrumentos de medición, garantizando la trazabilidad y la igualdad de las mediciones.

Las variables referentes a materia seca (% de materia seca radicular y aérea), se pesaron en fresco después de su medición y conteo, y se taparon, con el fin de evitar aumento o disminución de peso por contaminación, hasta finalizar el proceso con todas las UE, ingresándolas al horno al mismo tiempo, garantizando nuevamente la igualdad de todas las mediciones realizadas (figura 7).

Figura 7. Proceso de medición de variables de respuesta del material vegetal.

El muestreo de suelos se realizó en forma de X para cada una de las UE, a una profundidad de 5 cm, en 5 puntos para su homogenización, se obtuvo la humedad de muestreo, se secó y tamizó, almacenando y preparando las muestras para cada una de las pruebas de laboratorio a realizar.

Para algunas variables medidas en el laboratorio (NF, NT en suelo, nitrato y amonio en suelo, CIC, pH, entre otras), se siguieron los protocolos expuestos por IGAC (2006), usando los mismos equipos, reactivos y materiales. En el análisis de laboratorio para NT en suelo y en tejido foliar, se adaptó el protocolo del IGAC (2006), con el equipo y los reactivos de laboratorio, aumentando la dosis de catalizador (en la digestión) y calibrando los tiempos y las cantidades de NaOH aplicados en el destilador FOSS.

De cada UE se almacenaron muestras foliares y de suelo, debidamente rotuladas, selladas y pre-tratadas (suelo tamizado seco, muestras trituradas y tamizadas de material foliar, hojas, tallos secos enteros y raíces), garantizando la trazabilidad del proceso.

5.7 Prácticas culturales

Entre las prácticas culturales que se realizaron en el cultivo durante los 87 días de su ciclo productivo estuvieron: podas, fertilización, riego y control de plagas y enfermedades, como se menciona a continuación.

5.7.1 Podas

Se realizaron dos podas durante todo el ciclo productivo del cultivo; la primera poda (poda de formación) se realizó el día 28 de octubre (7 días después del trasplante) a todas las UE con excepción de aquellas que fueron resembradas; esta poda consistió en cortar el ápice o yema terminal de la plántula, dejando tres o cuatro pares de hojas con el propósito de estimular la brotación de las ramas laterales, como lo indica Ramirez (2011).

La segunda poda se realizó el día 18 de noviembre (día 28 después del trasplante), esta poda consistió en cortar las ramas terciarias y cuaternarias, estimulando el crecimiento de las plantas, sin embargo, no se realizó a todas las UE debido a que algunas no contaban con muchas hojas (8 UE en total de diferentes tipos de suelo, tratamientos y repeticiones).

Finalmente se realizaron podas sanitarias esporádicas, eliminando hojas secas y/o afectadas por algunas plagas y enfermedades; estas podas no tuvieron frecuencia establecida y no se le realizaron a todas las UE, solo a aquellas que se vieron afectadas por algún factor ecológico.

5.7.2 Fertilización

La fertilización nitrogenada se realizó en las cantidades y composiciones mencionadas en la tabla 3, supliendo una fertilización de 150kg de N/ha, lo que correspondió a un total de 0,678 g de N/UE; la aplicación de este nutriente se ejecutó en una sola dosis antes del trasplante, los tratamientos que estuvieron compuestos

por urea se aplicaron 5 días antes del trasplante, aquellos con contenido de FLL y de enmienda OM se adicionaron al suelo 3 días antes del trasplante; todos los fertilizantes que hicieron parte de los tratamientos, fueron aplicados directamente a la superficie del suelo; manteniendo el suelo entre un agotamiento máximo de 20% por debajo de capacidad de campo y capacidad de campo.

En cuanto a la aplicación de P y K, se aplicó el equivalente a 100 kg de P_2O_5 /ha usando como fuente ácido fosfórico y 150kg de K_2O/ha utilizando como fuente sulfato de potasio; estas aplicaciones se realizaron dos días antes del trasplante disueltos en la lámina de riego correspondiente, manteniendo el suelo entre un agotamiento máximo de 20% por debajo de capacidad de campo y capacidad de campo.

5.7.3 Riego

Con el fin de determinar la lámina de riego diaria a aplicar en el cultivo, se instaló y calibró un tanque evaporímetro tipo A, con todas las características enmarcadas por Allen et al. (2006) (figura 8).

Figura 8. Tanque evaporímetro tipo A usado en el experimento.

El tanque se ubicó en la granja experimental del LASA donde se llevó a cabo el experimento; su calibración consistió en registrar los datos de evaporación diaria durante los meses de Julio-agosto de 2016 a las 7:00 am. Con los datos obtenidos de evaporación acumulada se realizaron regresiones lineales, junto con los registros de tres estaciones climatológicas cercanas a la granja experimental, las cuales fueron: estación Meléndez, estación Jamundí y estación PTAR Cali, tomados de los boletines diarios de la red meteorológica automatizada (RMA) (Cenicaña, 2016).

La lámina y volumen de riego diarios se calcularon con la ecuación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), teniendo en cuenta los coeficientes de riego del cultivo para cada una de sus etapas, calculados por Daza et al. (2017) en condiciones del Valle del Cauca, el coeficiente del tanque evaporímetro, el área de cada UE y la Etp obtenida directamente del tanque evaporímetro como se muestra en la tabla 9. Es importante resaltar que a cada volumen de riego obtenido diariamente se le aumento el 15%, debido a que, en pruebas realizadas en el diseño de las UE, se encontró que, esta era la cantidad de agua que no lograba drenar el lisímetro. Dichas pruebas de diseño, consistieron en pasar, a través de 5 UE (sin suelo) un volumen de agua conocido en un tiempo determinado, aforando la cantidad de agua recolectada a través del lisímetro; repitiendo el procedimiento 10 veces, para un total de 50 datos; obteniendo un promedio de 15%, como la cantidad de agua que se quedaba en la UE.

Tabla 9. Determinación del volumen de riego diario para cada unidad experimental.

Ítem	Valor	Volumen de riego (ml/UE)
Área matera (cm^2)	452.39	Vr = Etp*Cp*Kc*A La Etp se midió diariamente en el tanque evaporímetro tipo A, el Cp se obtuvo de la Allen et al. (2006) y los Kc variaron dependiendo de la edad y fase del cultivo
Etp (mm)	Medida diaria de la evaporación del tanque evaporímetro tipo A	
Cp	0,75	
Kc (0-58 días)	0,86	
Kc (59-78 días)	1,24	
Kc (79-96 días)	0,85	

Sin embargo, durante el desarrollo del experimento se observó que el cultivo cambió rápidamente su fase de crecimiento, es decir, tardó 46 días en su primera fase (en vez de 58 días que es lo estimado), y terminó su ciclo productivo a los 86 días (96 días es el promedio de finalización), modificando de igual manera su régimen hídrico como se muestra en la tabla 10. Este aceleramiento se debe a que los Kc fueron obtenidos en condiciones de campo y el cultivo fue llevado en invernadero.

Tabla 10. Coeficientes del cultivo usados en el experimento y volumen total de riego.

Días después del trasplante	Kc (Coeficiente de riego del cultivo)	Requerimiento hídrico total (ml/UE)	Requerimiento hídrico total + 15% (ml/UE)
0-46	0,86	3391,20	3816,84
47-78	1,24	3138,59	3625.07
79-86	0,85	225,53	260,48
TOTAL		**6755,32**	**7802,4**

El riego se aplicó diariamente de forma manual con ayuda de una regadera, y el volumen de riego se midió con probetas y jeringas graduadas hasta con una precisión de 0,01ml; en algunos días se aplicó mayor cantidad de la lámina calculada e incluso se regó dos veces (mañana y tarde) puesto que se encontró el

suelo en exceso seco y en algunas UE se observó estrés hídrico. Todos los valores de los volúmenes de riego diarios fueron registrados.

5.7.4 Control de plagas y enfermedades

El cultivo tuvo un seguimiento diario, durante el cual además de aplicar el volumen de riego, se hizo control de plagas y enfermedades; durante todo su ciclo se observaron algunas plagas como pulgones, escarabajos e insectos en general, además de que algunas UE presentaron necrosis de hojas por la proliferación de hongos (figura 9).

Figura 9. Plagas y enfermedades observadas en el cultivo.

El control inicial de plagas y enfermedades se realizó por medio de la aplicación de una solución compuesta por agua y jabón coco, en el envés de todas las hojas de las UE afectadas; este control fue hecho el 17 de noviembre (día 27 después del trasplante y primera fase del cultivo) repitiéndose el 7 de diciembre (día 47 después del trasplante) al iniciar la segunda fase del cultivo.

Sin embargo, al notar que las aplicaciones iniciales no controlaron las plagas y enfermedades, entonces el 28 de diciembre (día 68 después del trasplante y segunda fase del cultivo) se aplicó una solución compuesta por 2,5 cm^3 de Kasumin 2% (ingrediente activo kasugamicina) fungicida y bactericida sistémico de origen biológico y 1,5 cm^3 de un coadyuvante agrícola concentrado emulsionable Carrier colinagro (ingrediente activo ácidos carboxílicos insaturados y glicéridos saturados) en un litro de agua, aplicado directamente en las hojas de las UE afectadas por las plagas y enfermedades, repitiendo el procedimiento una semana después del primer control.

Además de las prácticas culturales mencionadas anteriormente, eventualmente se realizaron plateos superficiales alrededor de la raíz, sobre todo en las UE del suelo básico, puesto que estas unidades se compactaron rápidamente ocasionando flujo preferencial al momento de la aplicación del volumen de riego.

5.8 Análisis Estadístico

El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico R versión 3.3.2. Se realizó un análisis estadístico descriptivo, además de la verificación de la distribución normal de los datos, por medio de un gráfico q-q. También se hizo un análisis de varianza (ANOVA) para la identificación de diferencias significativas entre los promedios de cada variable; aquellas variables porcentuales, fueron transformadas utilizando la función arcsin. Las diferencias significativas entre tratamientos, fueron establecidas por la prueba de Tukey. De la misma manera, se hicieron correlaciones entre variables, con el fin de encontrar relaciones entre ellas. Se trabajó con un nivel de confianza del 95% (α=0,05). Análisis estadístico similar al expuesto por Daza et al. (2015b).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados

6.1.1 Calibración tanque evaporímetro

En la figura 10 se presentan los resultados de calibración del tanque evaporímetro con tres estaciones climatológicas cercanas a la granja experimental.

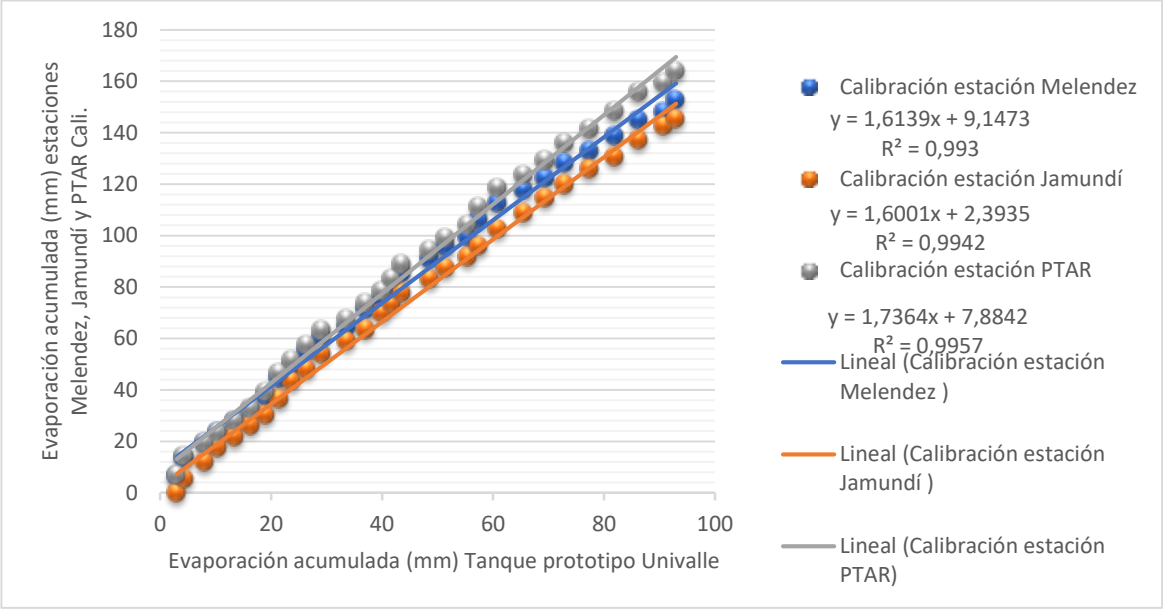

Figura 10. Calibración tanque evaporímetro.

En la figura 10 se observan las regresiones lineales elaboradas con los datos registrados del tanque evaporímetro de la granja experimental LASA con los de tres estaciones climatológicas cercanas, mostrando una muy buena correlación con las tres estaciones, con coeficientes de correlación de 0,9930, 0,9942 y 0,9957 para las estaciones de Meléndez, Jamundí y PTAR Cali, indicando que el tanque evaporímetro construido y calibrado, presenta la misma tendencia en los datos de evaporaciones diarias, con respecto a los de las estaciones cercanas.

6.1.2 Caracterización inicial de los suelos y de la enmienda órgano mineral

6.1.2.1 Caracterización físico-química de los suelos usados en la investigación

Los resultados de la caracterización inicial de los suelos utilizados en la experimentación se muestran en la tabla 11. Se observan las diferencias entre ellos debido a su procedencia, por lo que no son comparables. Se resalta el pH de ambos suelos, uno de ellos se clasifica como fuertemente ácido y el otro es neutro; el suelo

ácido se considera un suelo bien drenado por su textura y porosidad (macro porosidad), mientras que el suelo neutro es un suelo arcilloso con una textura fina, por lo que retiene mayor cantidad de agua .

Tabla 11. Resultados de caracterización inicial de suelos.

Tipo de propiedad	Propiedad	Resultados			
		Suelo ácido	Valores de referencia/ clasificación	Suelo básico	Valores de referencia/ clasificación
Propiedades físicas	Textura Ar (%) A (%) L (%) Clase textural	22,82 55,18 22,00 Franco arenoso arcilloso	Suelo franco-textura moderadamente fina	42,82 23,18 34,00 Arcilloso	Suelo arcilloso-textura fina
	Densidad Real (g/cm^3)	2,59	2,58-2,66*	2,72	2,54-2,64*
	Densidad Aparente (g/cm^3)	0,88	1,34-1,49*	1,38	1,18- 1,34*
	Porosidad (%)	66,02	Excelente	49,26	Baja
	Humedad a capacidad de campo Wcc (%)	42,46	Elevada	33,21	Elevada
Propiedades químicas	pH	5,11	Fuertemente ácido	6,85	Neutro
	Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,15	Suelo normal	0,10	Suelo normal
	Nitrógeno total (%)	0,18	Bajo	0,28	Medio
	Materia orgánica (%)	2,69	Medio	7,02	Muy rico
	Fósforo (ppm)	9,24	Bajo	0,03	Bajo
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100g de suelo)	8,90	Baja	11,80	Baja
	Bases intercambiables: Ca (meq/100g de suelo) Mg (meq/100g de suelo) K (meq/100g de suelo) Na (meq/100g de suelo)	 0,38 9,29 0,17 0,0004	 Bajo Alto Bajo Bajo	 0,92 9,29 0,17 0,004	 Medio Alto Bajo Bajo

*Valores referentes a la clase textural Fuente: Adaptación de Jaramillo, (2002); Garrido, (1994); Ibáñez, (2007); McKean, (1993).

En general, según los valores de las características evaluadas, el suelo con pH neutro (llamado suelo básico para la investigación), responde mejor al cultivo en comparación con el suelo ácido, ya que presenta mejores condiciones de fertilidad: porcentaje de N medio, es muy rico en materia orgánica, y a pesar de que tiene una CIC baja, es mayor que la del suelo ácido, además, algunos valores de bases intercambiables también son superiores.

6.1.2.2 Caracterización físico-química de la enmienda órgano mineral (lombricompost y montmorillonita)

La enmienda órgano mineral fue compuesta por una mezcla entre lombricompost (55%) y un mineral de arcilla montmorillonita (bentonita) (45%); los resultados de su caracterización se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados caracterización inicial de los componentes de la enmienda órgano mineral.

Tipo de propiedad	Propiedad	Resultado	
		Lombricompost	Montmorillonita
Física	Humedad (%)	67,560	10,120
Químicas	pH	6,586	9,185
	Conductividad eléctrica (dS/m)	7,790	1,492
	Nitrógeno Total (%)	1,000	0,064
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (meq/100g de suelo)	103,922	30,608
	Materia Orgánica (%)	20,000	0

Se puede observar que estos componentes presentan altos valores del pH y CIC, implicando un aumento de estos parámetros en ambos suelos después de su aplicación, además, el lombricompost tiene un alto porcentaje de nitrógeno total.

6.1.3 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en propiedades de la Estevia (*Stevia rebaudiana* B.) cultivada en dos suelos.

6.1.3.1 Efecto sobre la altura de la planta

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 11). En el suelo ácido todos los tratamientos tuvieron un promedio por encima de 50 cm, con excepción del tratamiento AT7 (50% FLL-50% OM); mientras que, para el suelo básico, todos los tratamientos presentaron un promedio por encima de 55 cm. En el suelo ácido (figura 11a), el tratamiento AT4 (50% Urea-50% OM) obtuvo el valor más alto (por encima de 75 cm), mientras que AT7 (50% FLL-50% OM), presentó el valor más bajo (por debajo de 25 cm), estos dos tratamientos tuvieron la mayor dispersión del grupo. Los tratamientos compuestos por 25% OM (AT3 y AT6), arrojaron menor dispersión que los demás tratamientos con contenidos de enmienda y presentaron promedios y medianas por

encima de 50 cm. Es importante resaltar que el testigo y el tratamiento constituido solo por urea, obtuvieron mejores resultados de altura con respecto a los demás tratamientos.

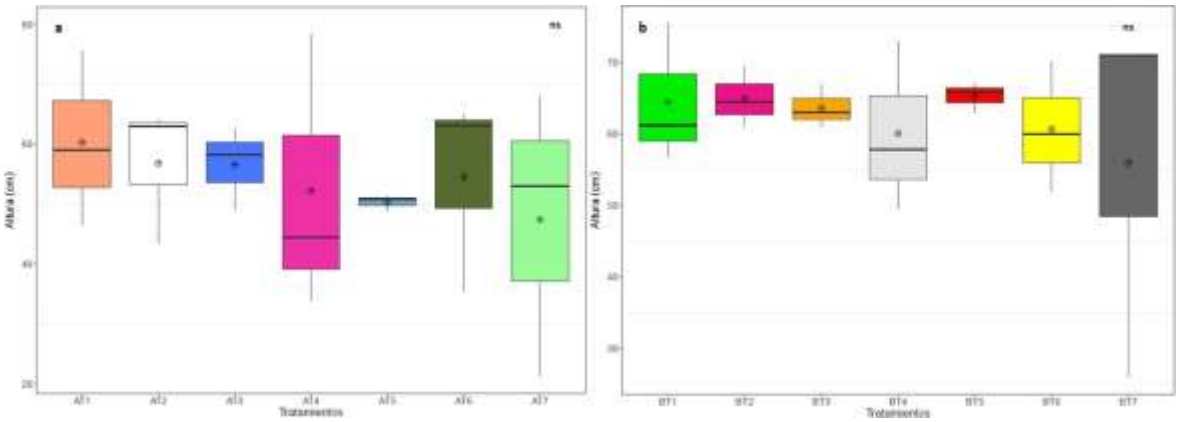

Figura 11. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la altura de Estevia (*Stevia rebaudiana B*.) cultivada en dos tipos de suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,226, Pr (>F):0,9614.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,2379, Pr (>F): 0,9565.

En el suelo básico (figura 11b), el tratamiento BT7 (50% FLL- 50% OM), presentó el valor más bajo (por debajo de 30 cm) y la dispersión más alta del grupo; los demás tratamientos con contenidos de OM, tuvieron promedios por encima de 60 cm y medianas por encima de 55 cm, siendo BT3 (75% Urea- 25% OM) el tratamiento con menor dispersión, teniendo todos sus valores entre 60 cm y 70 cm de altura. Cabe resaltar que, todos los tratamientos tuvieron comportamientos similares, sin importar los contenidos y combinaciones de fertilizantes, con excepción de BT7. También es importante resaltar que, los promedios y las medianas del suelo básico estuvieron por encima de 55 cm, valor superior a los presentados en el suelo ácido.

6.1.3.2 Efecto sobre el número de hojas

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 12). En el suelo ácido se encontró un promedio por encima de 500 hojas, con mucha dispersión; mientras que, en el suelo básico estuvo por encima de 250 hojas con menor dispersión. Para el suelo ácido (figura 12a), el tratamiento AT6 (75% FLL- 25% OM), presentó el promedio y la mediana más altos de todo el grupo (por encima de 600 hojas), y todos sus valores estuvieron entre 580 y 620 hojas; mientras que, AT4 (50% Urea- 50% OM), arrojó el promedio, la mediana y el valor más bajo del grupo, siendo el tratamiento menos eficiente en comparación con todos aquellos con contenidos de OM.

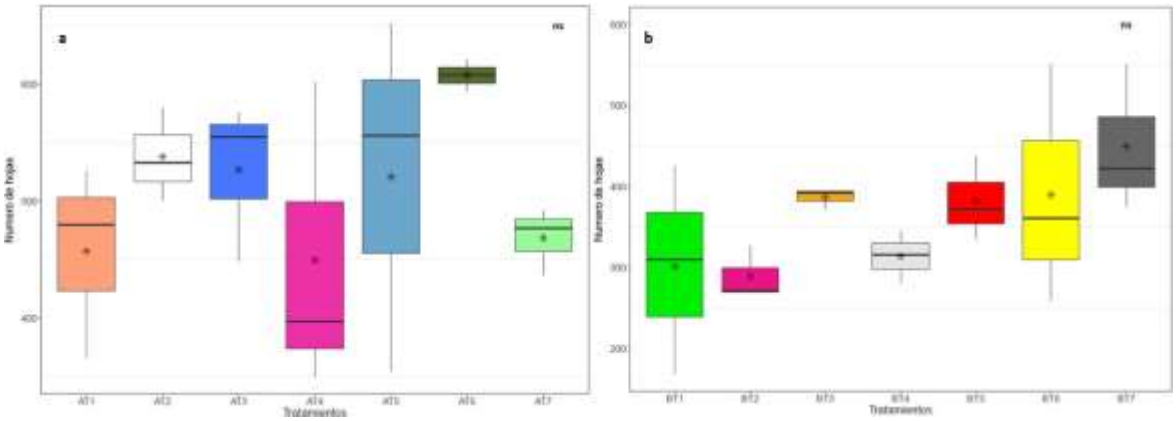

Figura 12. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el número de hojas de Estevia (*Stevia rebaudiana B*.) cultivada en dos tipos de suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 1,201, Pr (>F): 0,3614.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 1,3981, Pr (>F): 0,2884.

En el suelo básico (figura 12b), todos los tratamientos con contenidos de OM, con excepción de BT4 (50% Urea- 50% OM), presentaron promedios y medianas por encima de 350 hojas, siendo BT3 (75% Urea- 25% OM), el tratamiento con menor dispersión de todo el grupo y con valores entre 350 y 400 hojas. A pesar de no encontrar diferencias significativas, se evidencia que la mayoría de tratamientos con contenidos de OM, presentaron mejor comportamiento con respecto a los demás. Es importante resaltar que, en el suelo ácido se tuvieron valores más altos para esta variable, en comparación con el suelo básico.

6.1.3.3 Efecto sobre el peso seco aéreo.

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 13). En el suelo ácido se obtuvo un promedio y una mediana por encima de 8 g, mientras que, en el suelo básico el promedio estuvo por encima de 5 g y la mediana por encima de 6 g. Para el suelo ácido (figura 13a), los tratamientos con 25% de OM (AT3 y AT6), presentaron mejor comportamiento en comparación a los demás tratamientos con contenidos de OM, con promedios y medianas por encima de 11 g, y con todos sus valores entre 11 g y 13 g, teniendo la menor dispersión del grupo. Es importante resaltar que, los tratamientos compuestos solo por urea y FLL, tuvieron los valores más altos del grupo.

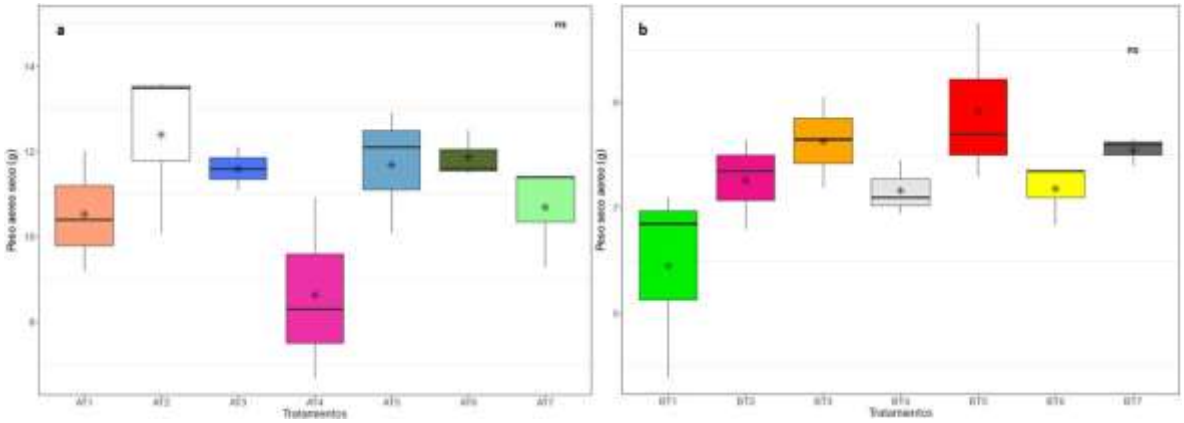

Figura 13. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el peso seco aéreo de Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* cultivada en dos tipos de suelo
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 2,2731, Pr (>F): 0,09645.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 2,3643, Pr (>F): 0,08664.

En el suelo básico (figura 13b), los tratamientos BT3 y BT7 (75% Urea-25% OM; 50% FLL- 50% OM) presentaron el mejor comportamiento con respecto a los demás tratamientos con contenidos de OM, con promedios y medianas por encima de 8 g, y con dispersiones relativamente bajas; sin embargo, el tratamiento que mejor comportamiento presentó fue el compuesto solamente por FLL. Es importante resaltar que el suelo ácido tuvo valores mucho más altos que los encontrados en el suelo básico, y en ambos suelos, los mejores comportamientos se observaron en los tratamientos sin contenidos de OM.

6.1.3.4 Efecto sobre el porcentaje de materia seca aérea.

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 14). En ambos suelos se presentaron promedios y medianas por encima del 40%. En el suelo ácido (figura 14a), todos los tratamientos con contenidos de OM, con excepción de AT4 (50% Urea- 50% OM), tuvieron promedios y medianas por encima de 44%, el tratamiento AT4 arrojó los valores más bajos de todo el grupo, incluso menores que los del testigo (por debajo de 44%); es importante resaltar que, el tratamiento con mejor comportamiento fue el compuesto solamente por urea.

En el suelo básico (figura 14b), el tratamiento con mejores resultados fue BT6 (75% FLL- 25% OM), teniendo todos sus valores por encima de 45% y presentando la menor dispersión del grupo; para este tipo de suelo, los tratamientos con contenidos de OM tuvieron mejores comportamientos con respecto a los demás tratamientos. Es importante resaltar que en el suelo ácido se obtuvieron valores mayores en comparación con el suelo básico; sin embargo, los tratamientos con contenidos de OM en el suelo básico evidenciaron mejor desempeño que en el suelo ácido.

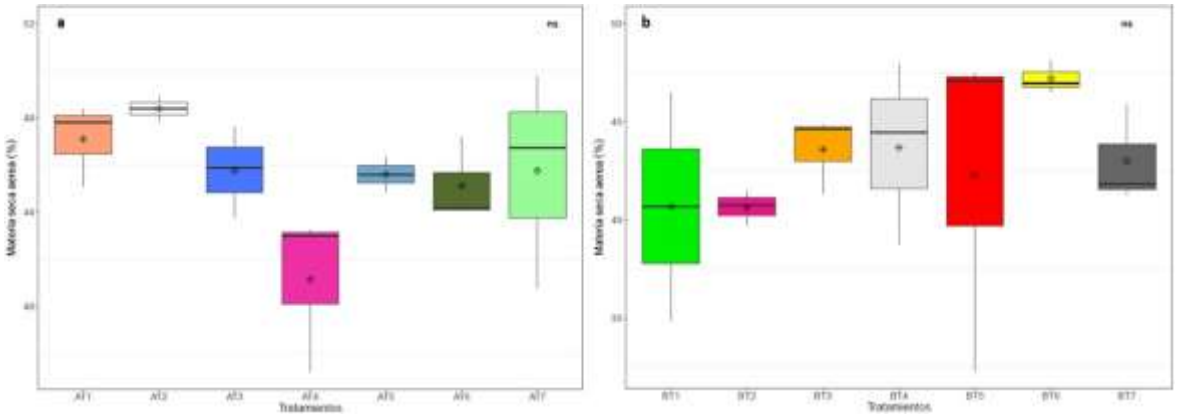

Figura 14. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de materia seca aérea de Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* cultivada en dos tipos de suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 2,4253, Pr (>F): 0,0807.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,7259, Pr (>F): 0,6363.

6.1.3.5 Efecto sobre el porcentaje de materia seca radicular.

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 15). En el suelo ácido se obtuvieron promedios por encima de 20%, mientras que en el suelo básico estuvieron por encima de 25%. Para el suelo ácido (figura 15a), el tratamiento AT3 (75% Urea- 25% OM), presentó el valor más alto, más bajo y la mayor dispersión de todo el grupo; todos los tratamientos con contenidos de OM con excepción de AT4 (50% Urea – 50% OM), arrojaron promedios por encima de 23%; es importante resaltar que el mejor comportamiento se observó con el tratamiento compuesto solamente por urea.

En el suelo básico (figura 15b), todos los tratamientos con contenidos de OM, con excepción de BT3 (75% Urea- 25% OM), presentaron promedios y medianas por encima de 27% y tuvieron los mejores comportamientos del grupo junto con el tratamiento compuesto solamente por FLL. Además, el tratamiento BT7 (75% FLL-25% OM) mostró la menor dispersión, con valores entre 27% y 30%. Para esta variable se observó un mejor desempeño en los tratamientos del suelo básico, sobre todo en aquellos con contenidos de OM.

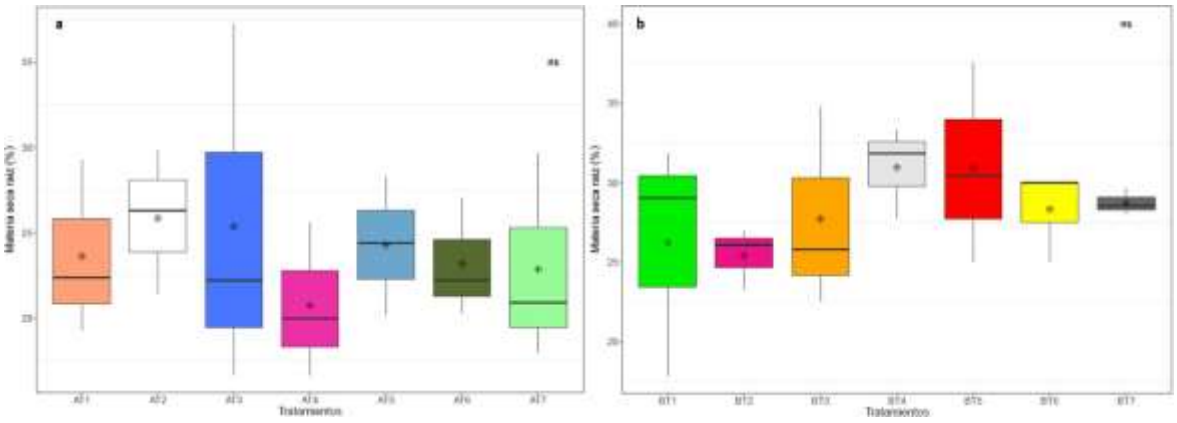

Figura 15. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de materia seca radicular de Estevia (*Stevia rebaudiana B*.) cultivada en dos tipos de suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,2527, Pr (>F): 0,95.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,6173, Pr (>F): 0,7136.

6.1.3.6 Efecto sobre el porcentaje de nitrógeno foliar.

Para esta variable se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos del suelo ácido, mientras que para el suelo básico no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (figura 16).

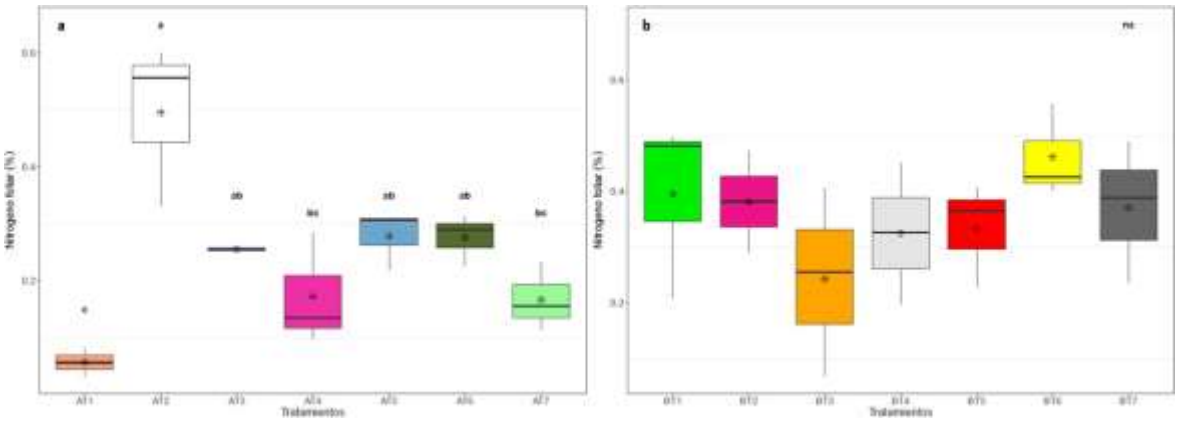

Figura 16. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de nitrógeno foliar de Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* cultivada en dos tipos de suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 11,57, Pr (>F): 9,83*10-5. **b. Suelo básico:** BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea-50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,9138, Pr (>F): 0,5132.

En el suelo ácido (figura 16a), se encontró que el tratamiento AT2 es significativamente diferente a los tratamientos que contienen mayor porcentaje de

enmienda OM (AT4 y AT7), además de presentar diferencias significativas con el testigo (AT1). El tratamiento AT2 presentó los valores más altos de NF (entre 0,3 y 0,6 %), mientras que, AT1 mostró diferencias significativas con todos los tratamientos con excepción de aquellos que contienen mayor porcentaje de enmienda OM (AT4 y AT7), exponiendo valores por debajo de 0,1%.

En el suelo básico (figura 16b), el tratamiento con mejor comportamiento fue BT6 (75% FLL- 25% OM), con valores, promedio y mediana por encima de 0,4%, además de presentar el valor más alto de todo el grupo. Todos los tratamientos con contenidos de OM, con excepción de BT3 (75% Urea- 25% OM), tuvieron promedios y medianas por encima de 0,3%; BT3 presentó los valores más bajos de todo el grupo y la dispersión más alta.

Para esta variable se obtuvieron valores mayores en el suelo ácido, sin embargo, los tratamientos con contenidos de OM, tuvieron un mejor comportamiento en el suelo básico, teniendo promedios y medianas superiores en comparación a los tratamientos con OM del suelo ácido.

6.1.4 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en las variables de dos tipos de suelo

6.1.4.1 Efecto sobre el porcentaje de materia orgánica.

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 17).

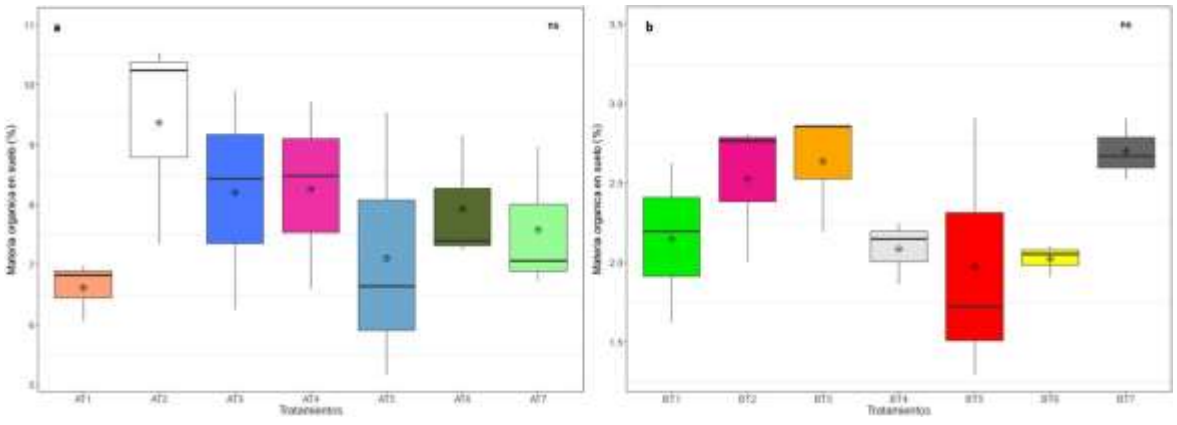

Figura 17. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de materia orgánica del suelo.
Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,9831, Pr (>F): 0,4724.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 1,4518, Pr (>F): 0,264.

El suelo ácido presentó un promedio por encima de 6,5%, mientras que el suelo básico tuvo un promedio por encima de 2,0 % y una mediana por encima de 1,5%. En el suelo ácido (figura 17a), todos los tratamientos con contenidos de OM presentaron promedios por encima de 7,5% con dispersiones relativamente bajas en comparación con los demás tratamientos; los tratamientos en combinación con OM y Urea, tuvieron promedios y medianas por encima de 8,0%. Es importante resaltar que el tratamiento con los valores más altos del grupo, fue el compuesto solamente por urea.

En el suelo básico (figura 17b), los tratamientos BT3 y BT7 (75% Urea- 25% OM; 50% FLL- 50% OM) tuvieron promedios y medianas por encima de 2,5%; siendo BT7 el tratamiento con mejor comportamiento, con valores entre 2,5% y 3%. Los demás tratamientos con contenidos de OM (BT4 y BT6), presentaron todos sus valores por debajo de 2,3%; aunque tuvieron menor dispersión. Es importante resaltar que en el suelo ácido se tuvieron valores mayores a los del suelo básico, sin embargo, se obtuvo mayor dispersión en los tratamientos, además, aquellos tratamientos con contenidos de OM evidenciaron mejor desempeño en el suelo básico.

6.1.4.2 Efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Para esta variable se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de ambos tipos de suelo (figura 18).

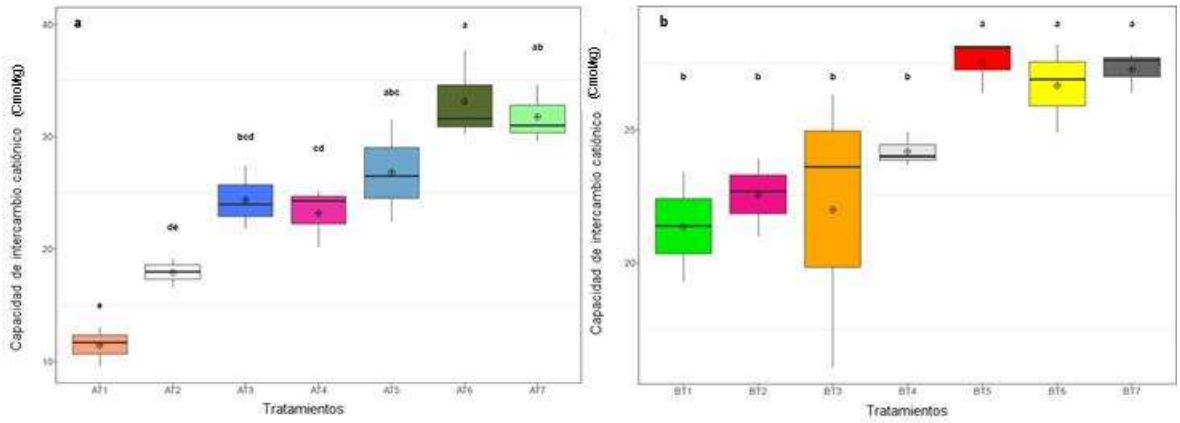

Figura 18. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 19,745, Pr (>F): 4,37*10-6. **b. Suelo básico:** BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4=50% Urea-50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 3,7362, Pr (>F): 0,01975.
En el suelo ácido (figura 18a), el tratamiento AT6 (75% FLL- 25% OM) presentó diferencias significativas con el testigo (AT1) y con todos los tratamientos con

contenidos de urea (AT2, AT3 y AT4), además de mostrar los valores más altos para esta propiedad (entre 30,2 y 37,6 cmol/kg de suelo); mientras que, el testigo, tuvo diferencias significativas con todos los tratamientos, con excepción de AT2 (100% urea), con valores entre 9,58 y 13 cmol/kg de suelo; por su parte AT2 fue diferente a todos los tratamientos con contenidos de FLL.

En el suelo básico (figura 18b), todos los tratamientos con contenidos de FLL (BT5, BT6 y BT7) presentaron diferencias significativas con los demás tratamientos (incluyendo el testigo) y viceversa. El tratamiento BT7 (50% FLL- 50% OM), presentó el mejor comportamiento, en comparación a los demás tratamientos con contenidos de OM, con valores entre 26 y 28 cmol/kg de suelo y con una dispersión relativamente baja; sin embargo, el tratamiento compuesto solo por FLL presentó el mejor comportamiento del grupo, con valores entre 26,4 y 28,1 cmol/kg de suelo.

Para esta variable, se obtuvieron valores mayores en el suelo ácido con respeto al suelo básico, pero en ambos suelos se mantuvo la misma tendencia en cuanto a la enmienda OM, es decir, los mejores tratamientos con contenidos de OM fueron aquellos combinados con FLL (AT6 y AT7) en los dos suelos.

6.1.4.3 Efecto sobre el porcentaje de nitrógeno total.

Para esta variable se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, en ambos tipos de suelo (figura 19).

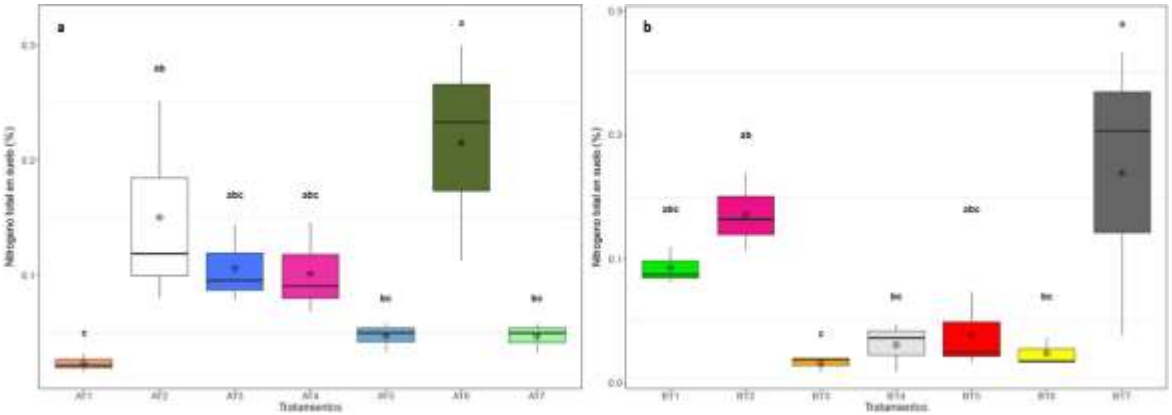

Figura 19. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el porcentaje de nitrógeno total del suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 7,1269, Pr (>F): 0,001231. **b. Suelo básico:** BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F:5,9723, Pr (>F): 0,002833.

En el suelo ácido (figura 19a), el tratamiento AT6 (75% FLL- 25% OM), fue diferente a los demás tratamientos con contenidos de FLL (AT5 y AT7) y al testigo (AT1); el tratamiento compuesto solo por Urea (AT2), presentó diferencias significativas con el testigo (AT1) y el testigo fue diferente a AT2 y AT6. AT6 mostró el mejor

comportamiento para esta propiedad, con valores entre 0,1133 y 0,2992 %, mientras que, el testigo obtuvo los valores más bajos, entre 0,0162 y 0,0318 %.

En el suelo básico (figura 19b), el tratamiento BT7 (50% FLL- 50% OM), tuvo diferencias con los demás tratamientos con contenidos de FLL (BT5 y BT6) y con las combinaciones entre urea y OM (BT3 y BT4); el tratamiento compuesto solo por urea (BT2) presentó diferencias significativas con BT3 (75% Urea- 25% OM), y BT3 fue diferente a BT1, BT2 y BT7 respectivamente. BT7 mostró el mejor comportamiento, con valores entre 0,04 y 0,27 %, seguido de BT2 (0,11 - 0,17 %); mientras que, BT3 obtuvo los valores más bajos, incluso por debajo del testigo, entre 0,01 y 0,02%.

En esta variable ambos tipos de suelo presentaron valores muy similares, además, en los dos suelos, el mejor comportamiento fue arrojado por tratamientos con combinación de FLL y OM, seguido del tratamiento compuesto solo por urea.

Es importante resaltar que, además de determinar el porcentaje de N total en el suelo, también se determinaron los contenidos de amonio y nitrato para ambos suelos, sin embargo, según la técnica usada, la gran mayoría de valores fueron ND (no detectables), para ambas variables en los dos tipos de suelo.

6.1.4.4 Efecto sobre la conductividad eléctrica (CE).

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 20). En el suelo ácido (figura 20a), el tratamiento AT3 (75% Urea- 25% OM), presentó el mejor comportamiento en comparación con los demás tratamientos con contenidos de OM (valores entre 0,65 -0,80 dS/m) con una dispersión relativamente pequeña, mientras que, AT4 (50% Urea- 25% OM), obtuvo el valor más alto y la mayor dispersión de todo el grupo. Es importante resaltar que, el tratamiento con mejor comportamiento fue el compuesto solamente por urea.

En el suelo básico (figura 20b), todos los tratamientos con contenidos de OM presentaron altas dispersiones, con excepción de BT3 (75% Urea-25% OM), que obtuvo valores entre 0,62 y 0,68 dS/m; el tratamiento BT6 (75% FLL- 25% OM) tuvo el valor más alto y la mayor dispersión de todo el grupo. Para esta variable, los tratamientos que mejor comportamiento mostraron, fueron aquellos sin combinaciones de OM.

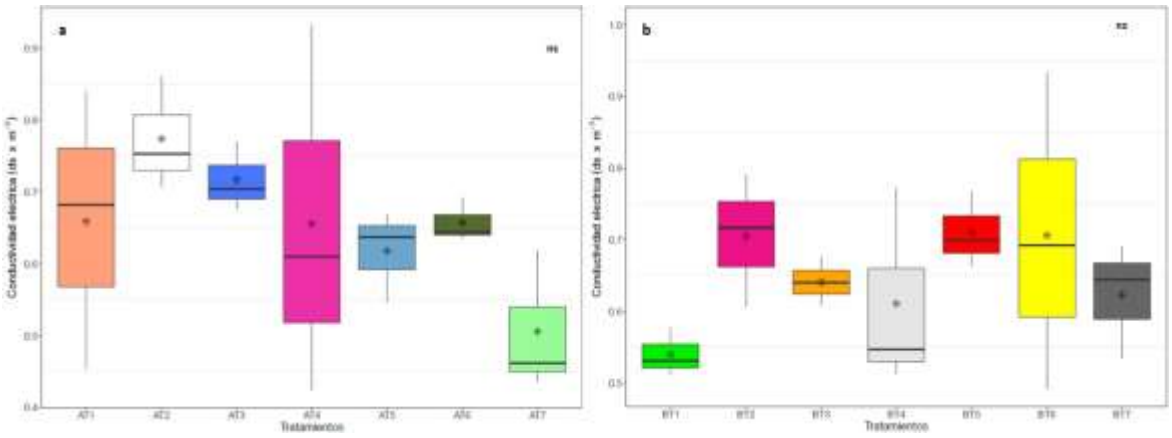

Figura 20. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la conductividad eléctrica (CE) del suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 1,1515, Pr (>F): 0,3843.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,9533, Pr (>F): 0,4896.

Ambos suelos tuvieron valores muy similares, sin embargo, en el suelo acido se presentaron valores más bajos y mayores dispersiones, además, los tratamientos con contenidos de OM en el suelo básico, mostraron mejor comportamiento que en el suelo ácido.

6.1.4.5 Efecto sobre el pH.

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 21). En el suelo ácido (figura 21a), todos los tratamientos con contenidos de OM tuvieron promedios y medianas por encima de 4,7; el tratamiento AT4 (50% Urea- 50% OM), presentó los valores más altos de pH (entre 4,5 y 4,9), en comparación a los demás tratamientos con presencia de OM (AT3, AT6 y AT7). En este suelo, los valores de pH más altos los arrojaron el testigo y el tratamiento compuesto solo por FLL.

En el suelo básico (figura 21b), el tratamiento BT4 (50% Urea- 50% OM) presentó el promedio, la mediana y el valor más alto de todo el grupo, con una alta dispersión; los demás tratamientos compuestos por OM (BT3, BT6 y BT7) tuvieron promedios y medianas por debajo de 5,8; siendo BT6 (75% FLL- 25% OM) el tratamiento con los valores más bajos de pH (entre 5,5 y 5,8). En general, en ambos suelos, los tratamientos con contenidos de OM, presentaron bajos valores de pH en sus respectivos grupos.

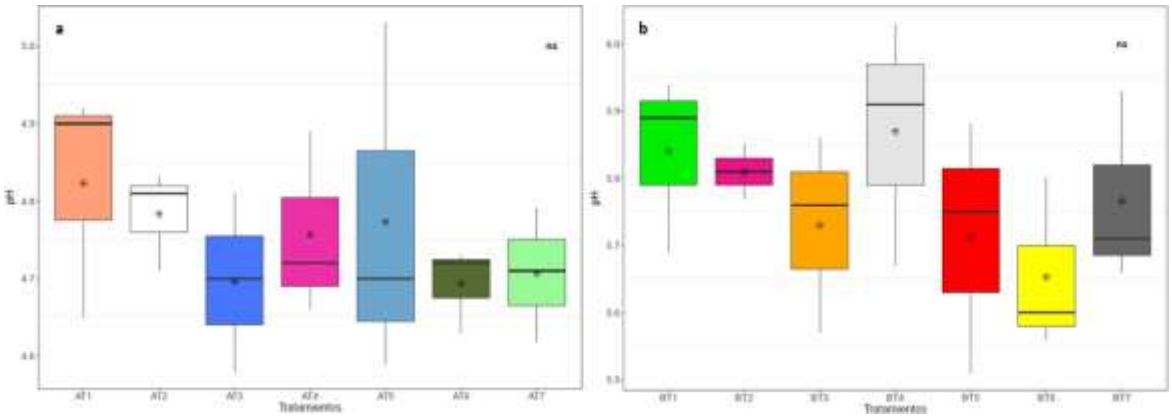

Figura 21. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en el pH del suelo.
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,4481, Pr (>F): 0,8346.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 0,8327, Pr (>F): 0,5642.

6.1.4.6 Efecto sobre la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable del suelo ácido.

Estas variables se midieron solo en el suelo ácido; la acidez intercambiable presentó diferencias significativas entre tratamientos, mientras que, el aluminio intercambiable no arrojó diferencias significativas (figura 22).

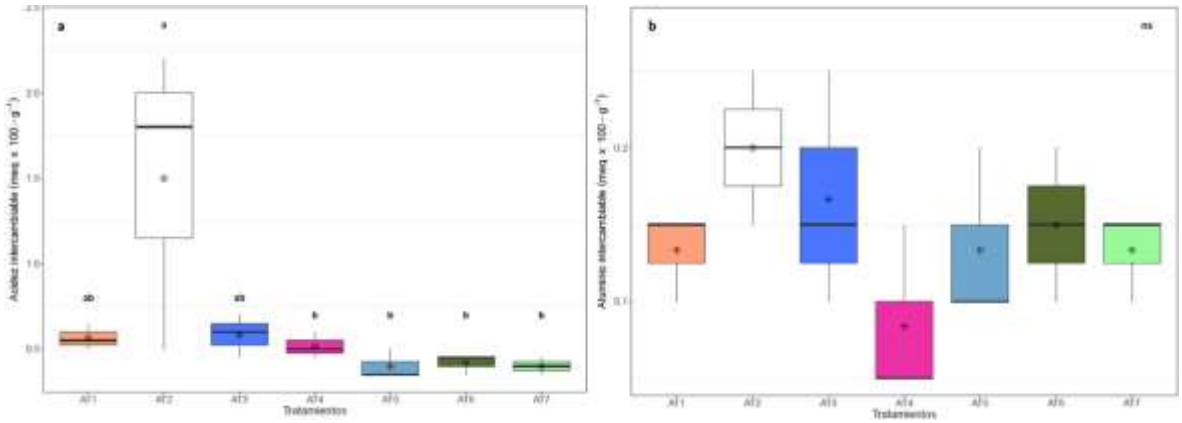

Figura 22. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable del suelo ácido.
a. Acidez intercambiable: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 3,9057, Pr (>F): 0,01674. **b. Aluminio intercambiable:** BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 1,4058, Pr (>F): 0,2797.
Para la acidez intercambiable (figura 22a), el tratamiento compuesto solo por urea (AT2), fue diferente a todos los tratamientos con contenidos de FLL (AT5, AT6 y AT7) y al tratamiento de urea con mayor contenido de OM (AT4); el tratamiento

compuesto solo por FLL (AT5) arrojó la menor acidez, con diferencias con respecto a AT2. Los tratamientos con combinación entre OM y FLL (AT6 y AT7), presentaron bajos valores de acidez en comparación con las combinaciones entre OM y urea.

Para el aluminio intercambiable (figura 22b), todos los tratamientos con contenidos de OM, con excepción de AT3 (75% Urea- 25% OM), presentaron promedios y medianas por debajo de 0,15 meq/ 100 g de suelo, siendo AT4 (50% Urea- 50% OM), el tratamiento con los valores más bajos para esta variable, incluso más bajos que el testigo.

6.1.5 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales sobre los Índices de eficiencia de fertilización nitrogenada

6.1.5.1 Efecto sobre la eficiencia agronómica de recuperación (EA)

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los dos tipos de suelo (figura 23). En el suelo ácido se obtuvieron valores negativos, mientras que, en el suelo básico solo se tuvieron valores positivos. Para el suelo ácido (figura 23a), los tratamientos con mayor contenido de OM (AT4 y AT7), arrojaron los valores más pequeños del grupo, además de presentar valores negativos; mientras que, los tratamientos con menor contenido de OM (AT3 y AT6), tuvieron valores entre 1 y 3 g MSA/g N aplicado, con dispersiones relativamente pequeñas. El tratamiento con mejores resultados fue el compuesto solamente por urea.

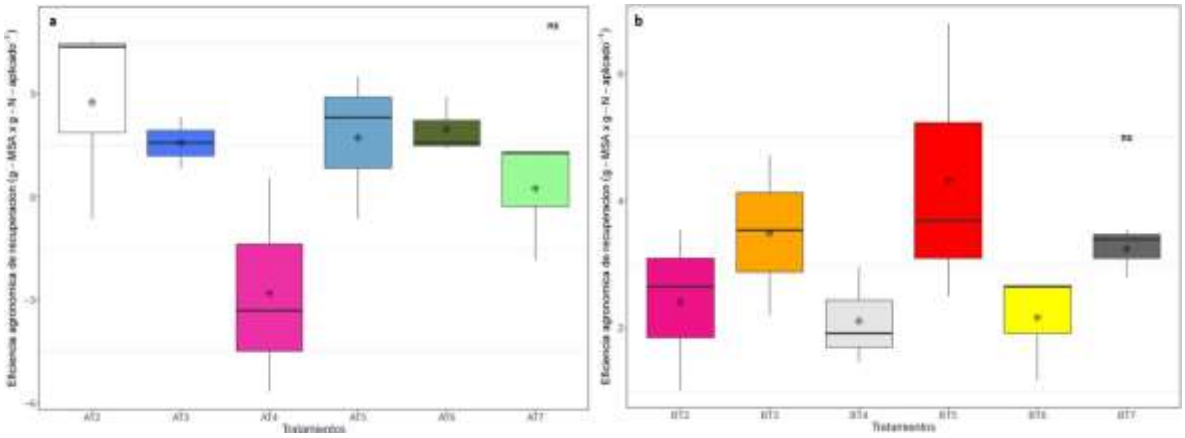

Figura 23. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la eficiencia de agronómica de recuperación (EA).
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 2,6118, Pr (>F): 0,08033.
b. Suelo básico: BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F: 1,4685, Pr (>F): 0,2705.

En el suelo básico (figura 23b), todos los tratamientos con contenidos de OM tuvieron promedios y medianas por encima de 2 g MSA/ g N aplicado; siendo BT3 (75% Urea- 25% OM), el tratamiento con mejor comportamiento, con un promedio y mediana por encima de 3 g MSA/ g N aplicado; sin embargo, el tratamiento con mejores resultados, fue el compuesto solamente por FLL. En el suelo básico se tuvieron mejores resultados de EA en comparación con el suelo ácido, pero, para ambos suelos, los mejores comportamientos en esta variable, fueron evidenciados en tratamientos sin contenidos de OM.

6.1.5.2 Efecto sobre la eficiencia aparente de recuperación (ER)

Para esta variable se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos del suelo ácido, mientras que, para el suelo básico no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (figura 24). En el suelo ácido (figura 24a), el tratamiento compuesto solamente por urea (AT2), presentó diferencias significativas con los demás tratamientos, teniendo los valores más altos de todo el grupo (por encima de 0,055 g N absorbido/ g N aplicado). Los tratamientos con menores contenidos de OM (AT3 y AT6), tuvieron valores más altos y menores dispersiones, en comparación con los tratamientos con mayor contenido de OM (AT4 y AT7).

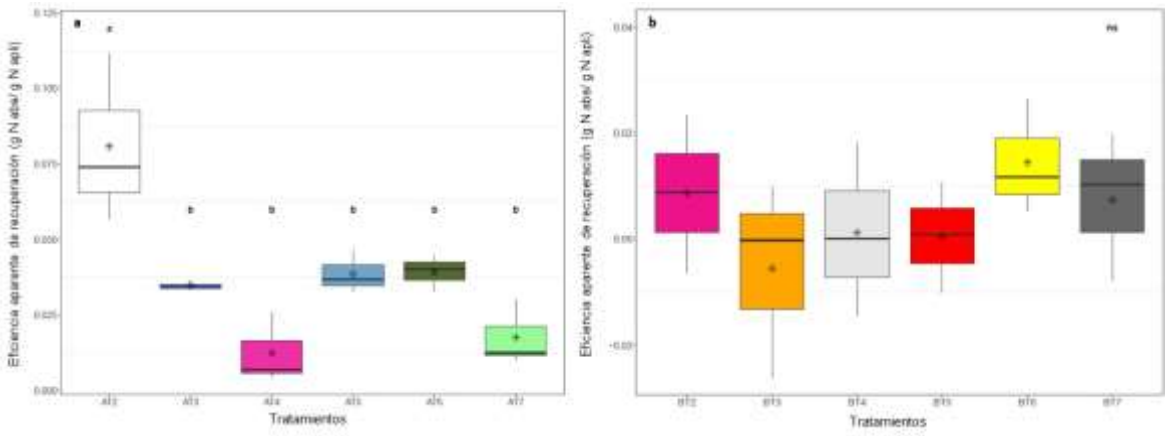

Figura 24. Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en la eficiencia aparente de recuperación (ER).
a. Suelo ácido: AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM; F: 9,3332, Pr (>F): 0,0008046. **b. Suelo básico:** BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM; F:0,728, Pr (>F): 0,6157.

En el suelo básico (figura 24b), todos los tratamientos con contenidos de OM, con excepción de BT6, presentaron promedios y medianas por debajo de 0,01 g N absorbido/ g N aplicado, con algunos valores negativos; BT6 (50% FLL- 50% OM), tuvo el promedio y la mediana por encima de 0,01 g N absorbido/ g N aplicado, además de presentar el valor más alto y el mejor comportamiento de todo el grupo.

El suelo básico presentó valores más altos en comparación con el suelo ácido, además de que el mejor comportamiento en este suelo lo obtuvo un tratamiento con presencia de OM; sin embargo, en el suelo ácido todos los tratamientos compuestos por OM, presentaron valores positivos, mientras que, en el suelo básico, dichos tratamientos tuvieron valores negativos.

6.1.6 Efecto del abono sintético en propiedades del cultivo, del suelo e índices de fertilización nitrogenada.

Al analizar los datos por abono sintético aplicado, se encontraron diferencias significativas en las variables agronómicas del cultivo (número de hojas, peso seco aéreo y el porcentaje de nitrógeno foliar) y en variables del suelo (capacidad de intercambio catiónico).

6.1.6.1 Efecto del abono sintético en el número de hojas y el PSA de la Estevia en cada tipo de suelo.

Se encontraron diferencias significativas en el número de hojas y el peso seco aéreo (figura 25). En el número de hojas (figura 25A), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos sin abono y con Urea del suelo básico (valores menores), con respecto a los tratamientos compuestos por FLL y Urea del suelo ácido; obteniendo los mejores resultados para el tratamiento compuesto por FLL del suelo ácido (valores por encima de 500 hojas).

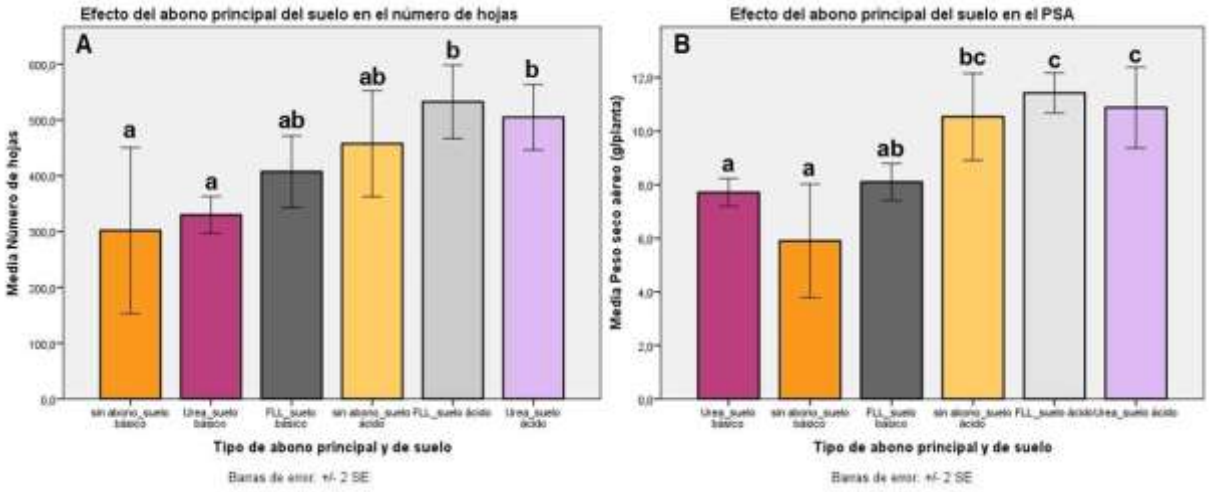

Figura 25. Efecto del abono sintético en el número de hojas y el PSA de la Estevia en cada tipo de suelo.
a. Efecto en el número de hojas: Urea (46 % de N), FLL (Urea recubierta de azufre, 40% de N y 6% de S); F: 7,467, Pr (>F): < 0,001. **b. Efecto en el PSA:** Urea (46 % de N), FLL (Urea recubierta de azufre, 40% de N y 6% de S); F: 13,181, Pr (>F): < 0,001.

En el peso seco aéreo (figura 25B), se observaron los mismos resultados que para el número de hojas, con diferencias significativas entre los tratamientos compuesto por urea y sin abono del suelo básico (valores menores), con respecto a los tratamientos compuestos por FLL y Urea del suelo ácido; obteniendo los mejores resultados para el tratamiento compuesto por FLL del suelo ácido (valores por encima de 11 g/planta).

Los mejores resultados para dichas variables, correspondieron a los tratamientos compuestos por FLL en el suelo ácido, mientras que para el suelo básico fueron aquellos compuestos por Urea como fertilizante sintético.

6.1.6.2 Efecto del abono sintético en el porcentaje de nitrógeno foliar y la CIC de cada suelo

Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno foliar y en la capacidad de intercambio catiónico (figura 26). En el porcentaje de nitrógeno foliar (figura 26A), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos sin abono del suelo ácido (valores más bajos del grupo), con respecto a los demás abonos, con excepción del FLL del suelo ácido.

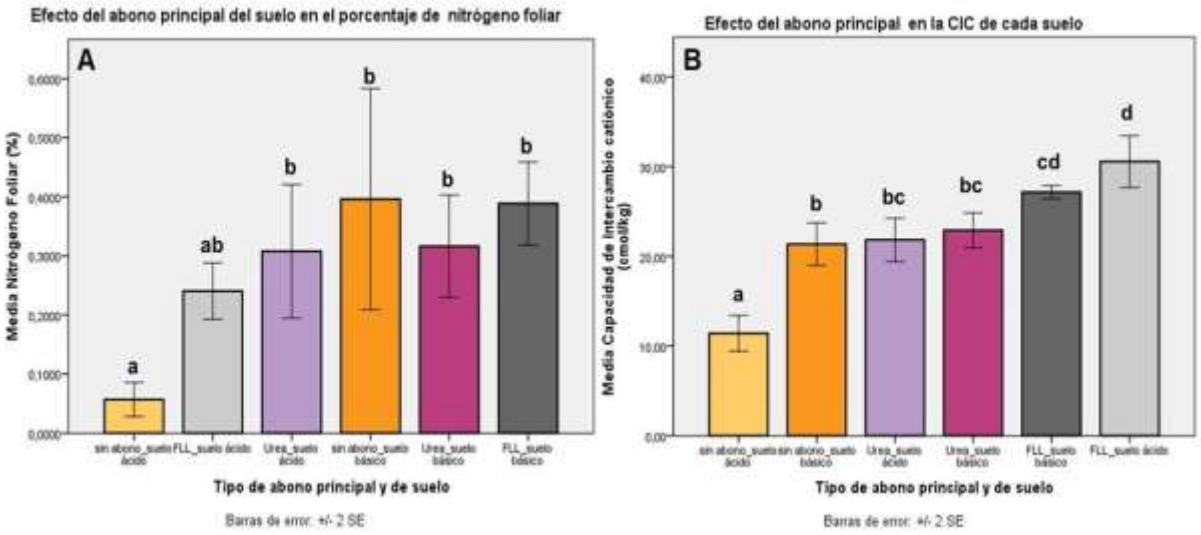

Figura 26. Efecto del abono sintético en el porcentaje de nitrógeno foliar y en la capacidad de intercambio catiónico de cada suelo.
a. Efecto en el porcentaje de nitrógeno foliar: Urea (46 % de N), FLL (Urea recubierta de azufre, 40% de N y 6% de S); F: 4,069, Pr (>F): 0,005. **b. Efecto en la CIC:** Urea (46 % de N), FLL (Urea recubierta de azufre, 40% de N y 6% de S); F: 28,754, Pr (>F): < 0,001.

En la capacidad de intercambio catiónico (figura 26B), se observaron diferencias significativas entre las UE sin abono del suelo ácido (valores más bajos de todo el grupo), con respecto a los demás abonos y tipos de suelo; también se encontraron diferencias significativas con las UE sin abono del suelo básico en comparación con

los tratamientos compuestos por FLL en ambos tipos de suelo, obteniendo los mejores resultados para las UE compuestas por FLL del suelo ácido (valores mayores a 25 cmol/kg).

Los mejores resultados se obtuvieron del FLL en el suelo ácido, como fertilizante sintético, con excepción del porcentaje de nitrógeno foliar, que le correspondió al tratamiento con FLL del suelo básico.

6.1.7 Efecto del tipo de suelo en propiedades del cultivo, del suelo e índices de fertilización.

Con respecto al tipo de suelo, se observaron diferencias significativas en el número de hojas, el porcentaje de nitrógeno foliar, el peso seco aéreo y la eficiencia agronómicas de recuperación (figura 27).

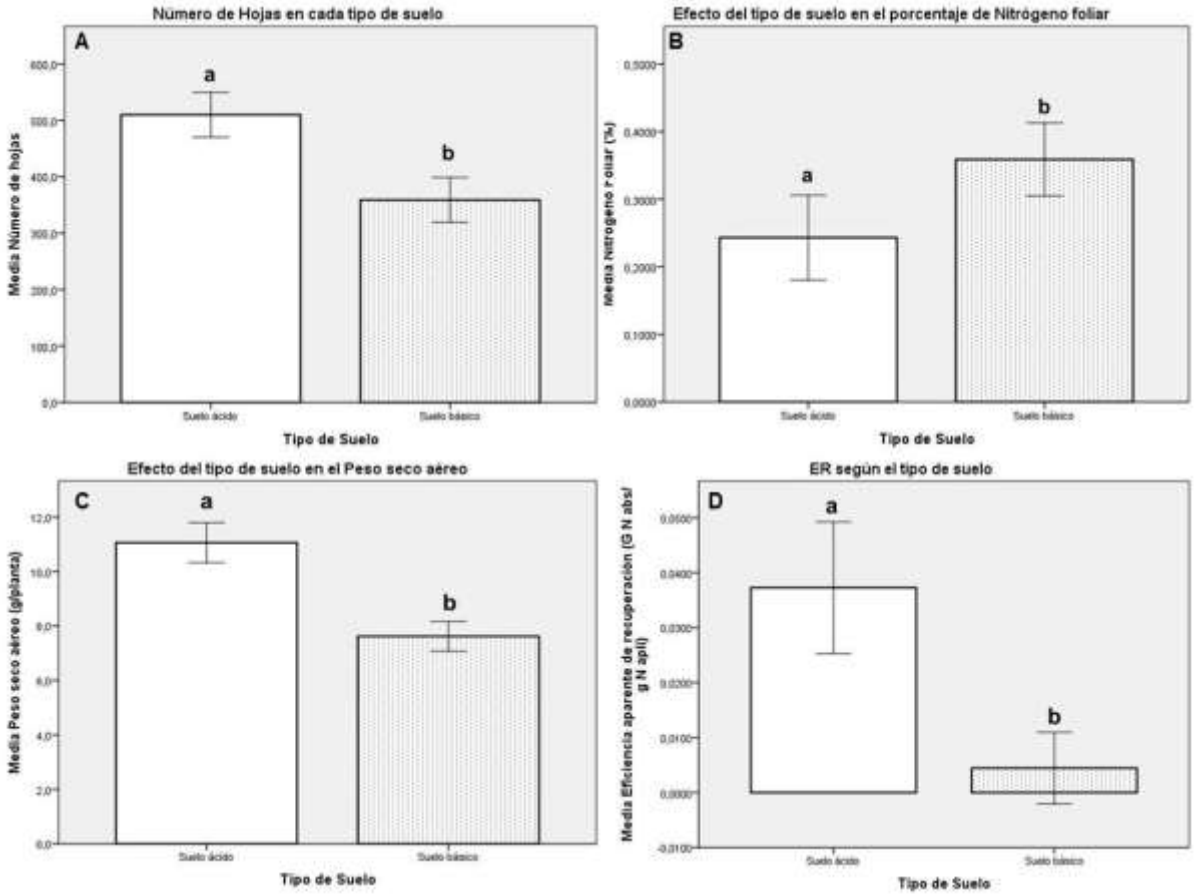

Figura 27. Efecto del tipo de suelo en el número de hojas, el porcentaje de nitrógeno foliar, el peso seco aéreo y en la eficiencia aparente de recuperación.
a. Efecto en el número de hojas: F: 28,802, Pr (>F): <0,001. **b. Efecto en el porcentaje de nitrógeno foliar:** F: 7.804, Pr (>F): 0,008. **c. Efecto en el peso seco aéreo:** F: 56,186, Pr (>F): <0,001. **d. Efecto en la eficiencia aparente de recuperación:** F: 23,164, Pr (>F): <0,001.

En el número de hojas, peso seco aéreo y eficiencia aparente de recuperación (figuras 27A, 27C y 27D), se encontraron diferencias significativas entre el suelo ácido y el suelo básico, obteniendo los mejores resultados en las UE del suelo ácido, mostrando valores promedio de 500 hojas, 11 g /planta y 0,0035 g de N absorbido/ g de N aplicado, para cada variable analizada respectivamente. En cuanto al porcentaje de nitrógeno foliar, se observaron diferencias significativas en ambos suelos, teniendo los mejores resultados para las UE del suelo básico, con valores promedio de 0,35 %.

En general, los mejores resultados de las variables analizadas, se observaron en el suelo ácido, mostrando mayores rendimientos del cultivo, sembrado en suelos con pH bajos en comparación con suelos con pH neutro a básico.

6.1.8 Correlaciones entre variables

Los mapas de calor muestran las correlaciones entre las variables evaluadas para ambos tipos de suelo (figura 25). La intensidad del color, azul (positiva) o rojo (negativa), expresa la magnitud de cada correlación; adicionalmente se presentan el coeficiente de correlación (r) (Pearson) y el test de significancia para la correlación (si el coeficiente es diferente de 0); es decir las casillas que tienen de una a tres estrellas, indican que la correlación es significativa a nivel del 90 %, 95% y 99% respectivamente. Las casillas que contienen las iniciales ns, indican que no existe correlación significativa entre las variables; si el coeficiente de correlación es más cercano a 1 o a -1, la correlación entre las variables es más fuerte.

En el suelo ácido se observaron un total de 54 correlaciones, 46 positivas y 8 negativas, de las 15 variables analizadas. Siendo las más representativas de manera positiva, la eficiencia aparente de recuperación con el porcentaje de nitrógeno foliar ($r=0,95$, $p< 0,01$), acidez intercambiable con eficiencia aparente de recuperación ($r=0,71$, $p<0,01$), entre otras; y correlación negativa, CIC con acidez intercambiable ($r= -0,62$, $p<0,01$).

En el suelo básico se observaron un total de 11 correlaciones, 9 positivas y 2 negativas, de las 13 variables analizadas. Siendo una de las más representativas de manera positiva, el nitrógeno foliar con la eficiencia aparente de recuperación ($r= 0,88$, $p<0,01$). Todas las correlaciones se muestran en los anexos.

6.2 Discusión de resultados

6.2.1 Efecto de la aplicación de enmienda órgano mineral en la lixiviación de nitrógeno

Inicialmente se planteó la hipótesis que, al aplicar los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada en las unidades experimentales (UE), se encontrarían diferencias en el volumen de lixiviado de cada UE y en las cantidades de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) contenidas en el lixiviado; sin embargo, durante los 86 días que tardó el experimento en campo, ninguna UE produjo lixiviados para ningún tratamiento, por lo que no se pudo determinar que tratamiento disminuye las lixiviaciones de NO_3^- y NH_4^+; es decir, no se le pudo atribuir a ningún tratamiento la disminución o ausencia de lixiviado en el cultivo de estevia.

Una posible explicación a la ausencia de lixiviado, se le puede atribuir a la cantidad de agua aplicada durante todo el ciclo productivo; por lo tanto, se debe resaltar el requerimiento hídrico real del cultivo durante el experimento, que fue de 6755,32 ml/ UE, calculado a partir de los Kc reportados por Daza et al. (2017); sin embargo, la cantidad de agua aplicada correspondió a 7802,40 ml/UE, exceso de 15,5% sobre la lámina diaria calculada, porcentaje que representa la cantidad de agua que se podría quedar en la matera según los cálculos y pruebas de diseño (en caso tal de que hubiera lixiviación).

Dichas cantidades corresponden a 1493,25 m^3/ha y a 1724,70 m^3/ha requerimiento real y aplicado respectivamente. En la tabla 13 se muestran los Kc usados para la determinación de las láminas de riego, la ETp y la ETc, además de los volúmenes de riego aplicados días después del trasplante del cultivo por UE.

Tabla 13. Requerimientos hídricos del cultivo después del trasplante.

Días después del trasplante	Kc (coeficiente de riego del cultivo)	Etp promedio (mm/día)	Etc promedio (mm/día)	Volumen de riego promedio (ml/día)	Volumen de riego promedio + 15.5% (ml/día)
0-46	0,86	2,47	2,13	72,15	83,34
47-78	1,24	2,33	2,89	98,08	113,28
79-86	0,85	0,98	0,83	28,19	32,56

Algunas investigaciones se han encargado de determinar diferentes Kc para el cultivo de estevia en sus múltiples fases de crecimiento, obteniendo el consumo hídrico del cultivo y teniendo en cuenta las condiciones agroecológicas del lugar donde se establece el experimento; los valores reportados varían entre 0,25 y 1,45 para Kc según la fase del cultivo; los consumos promedio diarios se encuentran entre 1,47 mm/día y 6,30 mm/día. Algunos valores de Kc por fase de crecimiento, consumos promedios diarios, autores y lugares reportados en diferentes investigaciones se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Kc y consumos hídricos promedios diarios reportados en la literatura.

Fase cultivo (días)	Kc reportado	Consumo promedio diario (mm/día)	Autor/año/lugar
Fase I (0-20 días) Fase II (21-46 días) Fase III (47-70 días)	0,25 0,56 0,82	1,78 2,10 6,30	González et al. (2002), (San Lorenzo-Paraguay)
Fase I (0-25 días) Fase II (26-50 días) Fase III (51-80 días)	1,45 1,14 1,16	5,44	Fronza y Folegatti (2003), (San Piero, Italia)
Fase I (0-38 días) Fase II y III (39-52, 53-57 días) Fase IV (58-63 días)	0,36 0,59 0,55	1,47	Villafañe et al. (2016), (Venezuela)
Fase I (0-54 días) Fase II (55-72 días) Fase III (73-96días)	0,86 1,24 0,85	4,95	Daza et al. (2017), (Candelaria-Colombia)

Fuente: Construcción del autor.

A pesar de que la mayoría de Kc reportados son menores a los usados en el experimento, gran parte de los consumos promedio diarios son mayores al consumo promedio diario reportado en la investigación (1,93 mm/día), lo que implica una menor aplicación de lámina de agua y consecuentemente un efecto directo en la lixiviación del recurso hídrico y de los nutrientes disponibles para la planta.

En cuanto a los requerimientos hídricos totales (m^3/ha), diferentes autores han reportado valores para el cultivo de estevia en distintos lugares, pasando por Paraguay, India y Colombia; algunas de las investigaciones más importantes debido a la semejanza en las condiciones agroecológicas, son las reportadas en Colombia por Jurado y Torres (2013); Niño et al. (2013) y Daza et al. (2017); como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Requerimientos hídricos de la Estevia reportados en la literatura.

Requerimiento hídrico total (m^3/ha)	Autor/año/lugar
1576	González et al. (2002) (San Lorenzo-Paraguay)
2548	Aladakatti et al. (2012) (Belavatagi-Dharwad-India)
5488	Niño et al. (2013) (Prado-Tolima-Colombia)
1241	Jurado y Torres (2013) (Cali-Colombia)
4753	Daza et al., (2017) (Candelaria-Colombia)
1493 real - 1725 aplicado	Obtenidas en el presente trabajo

Fuente: Construcción del autor.

Se puede observar que la mayoría de los requerimientos hídricos reportados son mayores al utilizado en la investigación, lo que implica nuevamente una menor cantidad de agua aplicada en todo el ciclo productivo del cultivo, aumentando la eficiencia de aplicación y teniendo una influencia directa en la lixiviación del recurso, sin observar efectos negativos en el desarrollo de las plantas.

Es importante comparar el requerimiento hídrico reportado por Daza et al. (2017) para el cultivo de estevia en condiciones de campo del Valle del Cauca, con el requerimiento hídrico obtenido en la investigación, ya que los Kc usados para el cálculo de la lámina de riego diaria fueron los establecidos por Daza et al. (2017) y el requerimiento hídrico total aplicado en la investigación correspondió a un 63,71% menos que el reportado en campo, debido a que el experimento se llevó a cabo en condiciones controladas (ambiente cerrado), mientras que el requerimiento establecido por Daza et al. (2017), se realizó en campo abierto con todas las variables climatológicas y las variaciones en la evapotranspiración que esto implica.

También es importante resaltar lo encontrado por Daza et al. (2015b); en un experimento realizado en la Universidad del Valle (Cali-Colombia), en el que evaluaron diferentes tipos de fertilización nitrogenada para el cultivo de Estevia, reportando volúmenes de lixiviados en tratamientos con el testigo comercial entre 1000 ml y 2000 ml, y lixiviaciones entre 0 y 500 ml para los demás testigos, con pérdidas de nitrato y amonio en ambos volúmenes de lixiviados; sin embargo, se debe tener en cuenta que la lámina de agua aplicada al cultivo se calculó con un Kc promedio para todo el ciclo productivo de 1,2, Kc reportado por Daza et al. (2015a) en condiciones de invernadero; coeficiente alto con respecto a los utilizados en el experimento, lo que puede considerarse como un factor determinante para la ausencia de lixiviados. Además, en la investigación reportada por Daza et al. (2015b), la aplicación de la lámina de agua en las etapas tempranas del cultivo fomentó la lixiviación del N, limitando la absorción por las plantas, puesto que el Kc utilizado es un valor promedio para todas las etapas fenológicas del cultivo (Reyes et al., 2012); mientras que, en la investigación actual, se usaron diferentes Kc para cada etapa del cultivo después del trasplante y se aplicaron láminas de agua menores, teniendo un efecto directo sobre la lixiviación del recurso hídrico y consecuentemente sobre la lixiviación de NO_3^- y NH_4^+ presentes en la solución del suelo.

En general, las diferentes investigaciones muestran aplicaciones de láminas de agua mucho más altas comparadas con las usadas en el experimento, coeficientes de riego menores, consumos promedios diarios y requerimientos hídricos mayores, todos estos dependen y varían según las condiciones agroecológicas y técnicas en las cuales se establezca el cultivo. Sin embargo, es muy importante resaltar que las pérdidas de nutrientes por lixiviación, están relacionadas directamente con la cantidad de agua aplicada al cultivo en sus diferentes fases de crecimiento, es decir, con el uso eficiente del recurso hídrico, sin que perjudique el desarrollo y rendimiento de la planta.

6.2.2 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en propiedades agronómicas y rendimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B*)

En ambos suelos se evaluaron un total de 6 variables agronómicas del cultivo, de las cuales se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno foliar (NF) en el suelo ácido. Sin embargo, se observaron valores y comportamientos importantes en el número de hojas y en el peso seco aéreo (PSA) en ambos suelos (tabla 16).

Tabla 16. Valores de variables agronómicas del cultivo por tratamiento para cada tipo de suelo.

Tipo de suelo	Tratamiento	Número de hojas		PSA* (g/planta)		% NF**	
		Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
Suelo ácido	AT1	457,33	47,56	10,53	0,81	0,06c***	0,01
	AT2	538,00	22,94	12,40	1,15	0,50a	0,08
	AT3	526,67	39,30	11,60	0,29	0,26ab	0,00
	AT4	449,67	77,37	8,63	1,22	0,17bc	0,06
	AT5	521,00	87,50	11,70	0,83	0,28ab	0,03
	AT6	607,67	7,80	11,87	0,32	0,28ab	0,03
	AT7	468,67	16,41	10,70	0,70	0,17bc	0,03
Suelo básico	BT1	301,67	74,31	5,90	1,06	0,40	0,09
	BT2	289,33	18,85	7,53	0,50	0,38	0,05
	BT3	386,33	7,17	8,27	0,49	0,24	0,10
	BT4	314,00	18,50	7,33	0,30	0,32	0,07
	BT5	382,00	29,87	8,83	0,86	0,33	0,05
	BT6	390,33	85,56	7,37	0,33	0,46	0,05
	BT7	449,67	52,38	8,10	0,15	0,37	0,07
Valores de p para ambos suelos		**Pr ácido**	**Pr básico**	**Pr ácido**	**Pr básico**	**Pr ácido**	**Pr básico**
		0,3614	0,2824	0,0965	0,0866	9.83E-05	0,5132

*Peso seco aéreo. **Nitrógeno Foliar. ***Valores seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (Pr > F). AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM, BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM.

En la tabla 16 se puede observar que para el NF, el tratamiento con mejores resultados y con diferencias significativas con el testigo y con los tratamientos con 50% de enmienda OM, fue el compuesto solo por urea (AT2); resultados similares encontraron Bonilla et al. (2007), al evaluar la fertilización nitrogenada del cultivo de estevia en condiciones del Valle del Cauca (Colombia), aplicando una dosis de 100 kg N/ha, y observaron que la urea como fuente de N presentó valores más altos para el NF con respecto a la gallinaza y el compost, sin encontrar diferencias significativas entre ellos (solo con el testigo), obteniendo resultados entre 0,3 y 0,7%, y para el testigo entre 0,07 y 0,16%, afines a los reportados en la investigación; estos resultados pueden deberse a la baja disponibilidad inmediata

del N en las otras fuentes aplicadas (gallinaza y compostaje), y de la misma manera en las fuentes de N suministradas en el experimento actual.

Maniruzzaman et al. (2016), al aplicar diferentes tasas de N en forma de urea en el cultivo de estevia en dos suelos representativos (ácido y no calcáreo) de Mymensingh (Bangladesh) encontraron que, a medida que aumentaba la tasa de fertilización, incrementaba el NF de las plantas, obteniendo mayores valores de NF en 300 kg de N/ha, presentado diferencias con los tratamientos menores a 150 kg N/ha; debido a la disponibilidad del nutriente para la planta. Resultados similares encontró Nasrin (2008), quien reportó grandes contenidos de NF y absorción de N, al aumentar las dosis de aplicación de N en forma de urea en estevia. Igualmente, Novoa y Villagrán (2000), reportaron un aumento de NF en el cultivo de maíz, a medida que aumentaban las tasas de aplicaciones de N en forma de urea.

Este comportamiento puede deberse a que, la urea se hidroliza con rapidez por efecto de la enzima ureasa produciendo iones de amonio (NH_4+) y de amoniaco (NH_3^+) (generalmente en las aplicaciones superficiales de urea se pierde NH_3^+ por volatilización), el NH_4^+ es adsorbido por las arcillas y la materia orgánica del suelo, y es eventualmente nitrificado o absorbido directamente por las plantas (Perez, 2014); proceso que se da de en tiempos distintos en otras fuentes de N usadas en el experimento, ya que en los tratamientos con contenidos de OM, se espera que los iones de amonio sean gradualmente intercambiado y oxidados por las bacterias encargadas de la nitrificación (Gholamhoseini et al., 2013). Sin embargo, este comportamiento solo se presentó en el suelo ácido; puesto que, en el suelo básico, el tratamiento con mejores resultados fue el compuesto por 75% FLL (Fertilizante de liberación lenta, para este caso urea recubierta de azufre) y 25% OM (BT6).

En los dos suelos, los tratamientos con 25% de enmienda OM y 25% FLL, tuvieron buenos comportamientos con respecto a los demás tratamientos, a pesar de no presentar diferencias significativas (suelo básico), ni tener el mejor resultado de todo el grupo (suelo ácido); sin embargo, estos resultados presentan tendencias importantes en cuanto al aumento del NF con la aplicación de enmiendas OM (tabla 17).

Tabla 17. Efecto de enmiendas órgano minerales en el porcentaje del nitrógeno foliar (NF) en diferentes cultivos.

Cultivo	Enmienda / proporción	NF (%)	Efecto	Autor/año/lugar
Girasol (*Helianthus annuus L.*)	Urea (80 kg N/ha) CM* y 14% zeolita (50 kg N/ha)	2,7	Diferencias significativas con tratamientos sin zeolita, aumento en un 12,5% con respecto a la urea.	Gholamhoseini et al. (2013), (Tehran – Irán)
Girasol (*Helianthus annuus L.*)	Urea (80 kg N/ha) CM + 21% zeolita (50 kg N/ha)	2,9	Diferencias significativas con todos los tratamientos, aumento en un 21% con respecto a la urea.	Gholamhoseini et al. (2013), (Tehran – Irán)

Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	URA**75% + enmienda OM*** 25% (150kg N/ha), suelo ácido	0,28	Diferencias significativas con el testigo (sin aplicación), aumento en un 366,67% con respecto al testigo.	Obtenido en el presente trabajo
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	URA 75% + enmienda OM 25% (150kg N/ha), suelo básico	0,46	Sin diferencias significativas entre tratamientos, valor mayor del grupo, aumento en un 15% con respecto al testigo (sin aplicación) y en un 21% con respecto a Urea.	Obtenido en el presente trabajo

*Estiercol bovino. **Urea recubierta de azufre. ***Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

En estevia se observa un aumento considerable con respecto al testigo en ambos tipos de suelo, sobre todo en el suelo ácido; mientras que, en los dos cultivos, se evidencia un incremento del NF con respecto al tratamiento conformado solo por urea, que corresponde al fertilizante de síntesis química en los dos casos.

Comportamiento similar al encontrado por Gholamhoseini et al. (2013), puesto que, los fertilizantes de origen orgánico (estiércol bovino y lombricompost,), mejoran las condiciones físicas de los cultivos, promoviendo la actividad radicular e incrementando la absorción de N, y combinados con minerales de arcilla (zeolita, montmorillonita), aumentan la absorción del N en la planta, teniendo un efecto directo en el NF.

Aunque los minerales de arcilla y los abonos orgánicos usados en las investigaciones presentadas no son los mismos, su comportamiento es parecido, mostrando que, la montmorillonita y el lombricompost, pueden aumentar el contenido de NF en la estevia al combinarse con FLL.

Es importante resaltar el efecto de la mezcla entre FLL y OM en ambos suelos, debido a que esta combinación presentó mejores resultados comparada con la composición entre OM y urea; lo que puede deberse a que el FLL libera el N de manera controlada, y al mezclarse con la enmienda OM, pueden presentar disponibilidad del nutriente a lo largo de las fases de crecimiento del cultivo, considerando que, la fertilización se realizó una sola vez, días antes del trasplante.

Los valores de NF obtenidos en ambos suelos, estuvieron bajos en comparación con algunas investigaciones (Daza et al., 2015b; Maniruzzaman et al., 2016; entre otras), esto puede ser por las pequeñas cantidades de N aplicado y por procesos de volatilización debido a las altas temperaturas; como lo sustentan Nannipieri y Eldor (2009), quienes reconocen que la dinámica del N en el suelo se ve afectada directamente por la temperatura, el tamaño de partícula, el tipo de suelo, la agregación, la humedad, entre otras, teniendo efectos directos en la disponibilidad del N para las plantas.

Las enmiendas OM también tuvieron un efecto en el número de hojas del cultivo, aunque no se encontraron diferencias significativas, se observó que los tratamientos

con contenidos de 25% y 50% de OM en combinación con FLL para el suelo ácido y básico respectivamente (AT6 y BT7), presentaron los valores más altos de todo el grupo, resultados superiores a los reportados por diferentes autores alrededor del mundo (Tabla 18).

Tabla 18. Efecto de enmiendas orgánicas y órgano minerales en el número de hojas, en el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B.).*

Proporción de enmienda/tipo de suelo	N° de hojas	Efecto	Autor/año/lugar
Vermicompost (20,8 ton/ha) + BM[1] (2,77 ton/ha), suelo alcalino.	89,87	Diferencias significativas con todos los tratamientos, aumento en un 10,5% con respecto al testigo (sin aplicación).	Dushyant et al. (2014), (Lucknow-India)
CF[2] (187 Kg N/Ha) + PM[3](3 Ton/Ha), suelo ácido	330,00	Diferencias significativas con todos los tratamientos, menos con el compuesto solo con CF; aumento en más del 1000% con respecto al testigo.	Zaman et al. (2015b), (Mymensingh-Bangaldesh)
CF (187 Kg N/Ha) + PM (3 Ton/Ha), suelo no calcáreo.	448,00	Diferencias significativas con todos los tratamientos, aumento en un 967% con respecto al testigo y 24,8% con respecto a CF.	Zaman et al. (2015b), (Mymensingh-Bangaldesh)
URA[4] 75% + enmienda OM[5] 25% (150kg N/ha), suelo ácido	607,67	Sin diferencias significativas, aumento en un 32,87% con respecto al testigo (sin aplicación) y 12,95% con respecto a la Urea.	Obtenido en el presente trabajo
URA 50% + enmienda OM 50% (150kg N/ha), suelo básico	449,67	Sin diferencias significativas, aumento en un 49,06% con respecto al testigo (sin aplicación) y 55,42% con respecto a la Urea.	Obtenido en el presente trabajo

[1]Harina de hueso. [2]Fertilizante de síntesis química. [3]Gallinaza. [4]Urea recubierta de azufre. [5]Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

Observando que, las aplicaciones de enmiendas OM con minerales de arcilla (presente trabajo), tuvieron cantidades superiores de hojas en ambos tipos de suelos (448- 607 hojas), comparados con las aplicaciones de enmiendas OM sin mineral de arcilla (330- 448 hojas) (Zaman et al., 2015b) y con enmiendas orgánicas (89 hojas) (Dushyant et al., 2014). Además, todas las enmiendas superan en gran porcentaje al testigo, y en los casos de las enmiendas OM con y sin mineral de arcilla, estuvieron por encima de los tratamientos compuestos solo por fertilizante de síntesis química.

Es importante resaltar el efecto del mineral de arcilla en la enmienda OM y en el cultivo, puesto que, al comparar los valores de diferentes suelos con aplicaciones de ambas enmiendas (con y sin mineral de arcilla), se observa que en aquellos reportados para suelos ácidos, la enmienda OM con mineral de arcilla, supera casi en el doble al número de hojas obtenido por las enmiendas sin el mineral de arcilla;

mientras que, en suelos con pH superiores, tienen resultados similares, pero, con la aplicación de OM con mineral de arcilla, el porcentaje de diferencia con el tratamiento compuesto solo por fertilizante de síntesis química es mucho más alto, que en la aplicación de OM sin mineral de arcilla.

Estos resultados son el reflejo de la disponibilidad del nutriente para el cultivo debido a la combinación de los fertilizantes aplicados, manteniendo un poco más tiempo el nutriente disponible para la planta, efecto aumentado por el mineral de arcilla, como lo reporta Diaz et al. (2009), alcanzando los mayores valores para el número de granos por vainas en frijol (*Phaseolus vulgaris l.)* con los tratamientos con combinación de 25% zeolita (mineral de arcilla); de igual forma, lo reporta Gholamhoseini et al. (2013), quien afirma, que el mineral de arcilla presente en la enmienda OM, evita la pérdida de N del suelo debido a la absorción y posterior liberación del N; actuando como un fertilizante de liberación lenta, suministrando el N al cultivo gradualmente.

Finalmente, se resalta el efecto del FLL con la combinación de OM en el cultivo, en proporciones de 25% y 50% para suelo ácido y básico respectivamente, aumentando el número de hojas de la planta; comportamiento similar observado en el NF.

El peso seco aéreo (PSA), también se vio afectado por la aplicación de enmiendas OM, sin presentar diferencias significativas con los demás tratamientos, se observó un aumento de este, en comparación con el testigo, y en algunos casos con los tratamientos compuesto solo por FLL (suelo ácido) y solo por urea (suelo básico). En la tabla 19, se muestran algunos efectos en el PSA, por la aplicación de enmiendas OM y minerales en diferentes cultivos.

Tabla 19. Efecto de enmiendas OM y minerales en el peso seco aéreo (PSA) en diferentes cultivos.

Cultivo	Enmienda / proporción	PSA[1] (g/planta)	Efecto	Autor/año/lugar
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	CF[3] (187 Kg N/Ha) + PM[4] (3 Ton/Ha), suelo ácido	9,98	Diferente a todos los tratamientos, valor mayor, aumento en más de 1000% con respecto al testigo y en un 6,73% con CF.	Zaman et al. (2015b), (Mymensingh-Bangaldesh)
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	CF (187 Kg N/Ha) + PM (3 Ton/Ha), suelo no calcáreo.	13,55	Diferente a todos los tratamientos, valor mayor, aumento en un 867% con respecto al testigo y en un 24,77% con CF.	Zaman et al. (2015b), (Mymensingh-Bangaldesh)
Maíz (*Zea mays L*.)	Zeolita cp[5] (120 kg/ha) + Urea (200kgN/ha), suelo un poco ácido	70,10	Diferente a todos los tratamientos, valor mayor, aumento en un 25.85% con respecto al testigo y en un 12,07% con Urea.	Civeira y Rodríguez (2011), (Buenos Aires - Argentina).

Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	URA[6] 75% + enmienda OM[7] 25% (150kg N/ha), suelo ácido	11,87	Sin diferencias significativas entre tratamientos, aumento en un 12,72% con respecto al testigo (sin aplicación).	Obtenido en el presente trabajo
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	Urea 75% + enmienda OM 25% (150kg N/ha), suelo básico	8,27	Sin diferencias significativas entre tratamientos, aumento en un 40,17% con respecto al testigo (sin aplicación) y en un 9,8% con respecto a Urea.	Obtenido en el presente trabajo

[1]Peso seco aéreo. [2]Harina de hueso. [3]Fertilizante de síntesis química. [4]Gallinaza. [5]Clinoptilolita. [6]Urea recubierta de azufre. [7]Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

Como se puede observar, todos los tratamientos superaron al testigo, sobre todo las enmiendas OM sin mineral de arcilla en diferentes suelos (Zaman et al., 2015b), también tuvieron resultados superiores con respecto a los tratamientos compuestos solo por el fertilizante de síntesis química, con excepción de la enmienda OM con mineral de arcilla en suelo ácido mostrada en el trabajo actual. Además, se observa un efecto en el PSA de la estevia con la aplicación de enmiendas OM con y sin mineral de arcilla en el suelo ácido, igual al encontrado en el número de hojas. Mientras que, en suelos con pH superiores, el PSA reportado, fue mayor con la aplicación de enmiendas OM sin mineral de arcilla.

Los resultados comparados en la tabla 9 son relevantes, debido a que, a pesar de no tener diferencias significativas con otros tratamientos, se observa una tendencia de aumento en el PSA con la aplicación de enmiendas minerales y OM con y sin mineral de arcilla en diferentes investigaciones alrededor del mundo (Zaman et al., 2015b; Civeira y Rodríguez, 2011; y en el presente trabajo); mostrando que, las enmiendas minerales y OM con y sin mineral de arcilla, mejoran algunas propiedades agronómicas del cultivo, relacionadas directamente con el rendimiento de estos; además de superar en su mayoría, dichas propiedades con la aplicación de fertilizantes de síntesis química.

Finalmente, se resalta el efecto de las combinaciones de enmiendas OM con FLL y urea en esta propiedad, en proporciones de 25% para suelo ácido y básico respectivamente, aumentando el PSA de la estevia, en comparación con otros tratamientos.

Como efecto de los resultados analizados del número de hojas y del PSA, se observa el mismo comportamiento para el rendimiento del cultivo en ambos tipos de suelo, expresado en g/planta o kg/ha (tabla 20).

Tabla 20. Rendimiento del cultivo por tipo de suelo en g/planta y kg/ha para los tratamientos para los dos suelos estudiados.

SUELO ÁCIDO			SUELO BÁSICO		
TRATAMIENTO	**g/planta**	**kg/ha**	**TRATAMIENTO**	**g/planta**	**Kg/ha**
AT1*	10,53	2328,37	BT1	5,90	1304,18
AT2	12,40	2741,00	BT2	7,53	1665,23
AT3	11,60	2564,16	BT3	8,27	1827,33
AT4	8,63	1908,38	BT4	7,33	1621,02
AT5	11,70	2586,26	BT5	8,83	1952,59
AT6	11,87	2623,11	BT6	7,37	1628,39
AT7	10,70	2365,22	BT7	8,10	1790,49

*AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM, BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM.

En la tabla 20, se exponen los resultados del rendimiento para el cultivo de estevia en ambos tipos de suelo, mostrando que los tratamientos compuesto solo por urea y con una combinación de 75 % FLL y 25 % OM (AT1 y AT6), presentan los valores más altos para el suelo ácido, mientras que, los compuestos con FLL y con una mezcla de 75 % urea y 25% OM (BT5 y BT3), tuvieron los mejores resultados para el suelo básico.

Estos rendimientos en algunos casos pueden ser mayores o menores en comparación a diferentes rendimientos reportados en la literatura, con base en el pH del suelo y en la fuente principal de N aplicada al cultivo de estevia alrededor del mundo, como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Rendimiento del cultivo en diferentes suelos, según el pH, la fuente y tasa de aplicación del N.

Rendimiento (kg/ha)	Fuente de N y aplicación	pH del suelo	Autor/año/lugar
929	Urea – 250 kg N/ha	5,11	Moniruzzaman et al. (2016), (Mymensingh-Bangaldesh)
1117	Urea - 108 kg N/ha	5,11	Zaman et al. (2015a), (Mymensingh-Bangaldesh)
1411	3 Ton/Ha de gallinaza en combinación con 187 Kg N/Ha de CF*	5,11	Zaman et al. (2015b), (Mymensingh-Bangaldesh)
2741	Urea - 150 kg N/ha	5,1	Obtenido en el presente trabajo
1952	Urea y OM 75:25 - 150 kg N/ha	6,85	Obtenido en el presente trabajo
1196	Urea - 108 kg N/ha	6,85	Zaman et al. (2015a), (Mymensingh-Bangaldesh)

1212	Urea – 250 kg N/ha	6,85	Moniruzzaman et al. (2016), (Mymensingh-Bangaldesh)
1916	3 Ton/Ha de gallinaza en combinación con 187 Kg N/Ha de CF*	6,85	Zaman et al. (2015b), (Mymensingh-Bangaldesh)
649	Urea - 100 kg N/ha	7,15	Bonilla et al. (2006), (Palmira- Colombia)

*CF: Fertilizante químico

En la tabla 21 se muestran algunos rendimientos del cultivo de estevia encontrados en la literatura, en suelos con pH similares a los usados en el experimento; se observa que, para ambos tipos de suelo, el rendimiento fue mayor a los reportados por diferentes autores; para el suelo ácido, el rendimiento fue superior en comparación a otras investigaciones, además de que la tasa de N aplicada (en algunos casos) fue menor, demostrando que, no necesariamente al aplicar mayores cantidades de N se obtendrán mayores rendimientos en el cultivo; el fertilizante que mejor resultado reportó fue el fertilizante de síntesis química, en este caso urea.

Para el suelo con pH básico, el rendimiento fue mayor que el reportado por algunos autores, sin embargo, no fue tan alto como para el suelo ácido; presentando el mismo comportamiento en cuanto a las tasas de aplicación de N en forma de urea, pero con semejanzas con aplicaciones de fertilizante de síntesis química en combinación con gallinaza, similar al tratamiento que mayor rendimiento obtuvo en el experimento (75% Urea, 25% OM); mostrando que para cada suelo, las aplicaciones y los tipos de fertilizantes se comportan totalmente diferentes.

Es importante resaltar que otros tipos de fertilizantes presentan rendimientos más altos en el cultivo en suelos distintos a los estudiados, como lo reportaron Velásquez et al. (2016), al aplicar 60 Ton/ha de bovinaza, obtuvieron rendimientos de hasta 5282,5 kg/ha, resultados similares mostrados por Daza et al. (2015b) al aplicar 300 Kg N/ha como fuente de N gallinaza, con rendimientos de 7700 kg/ha, mostrando que los fertilizantes de origen orgánico, pueden tener una influencia directa en el rendimiento del cultivo.

La dosis de aplicación con la que se trabajó (150 kg N/ha) se encuentra dentro de las más bajas reportadas en la literatura, obteniendo muy buenos resultados en cuanto a las variables agronómicas del cultivo, en comparación con algunas investigaciones citadas, mostrando que, al aplicar mayores cantidades de N, no siempre se obtendrán mejores características en la planta y consecuentemente no se tendrán rendimientos mayores en el cultivo.

En cuanto al efecto de las enmiendas OM en el rendimiento de la planta, se observan tendencias importantes, no solo para la estevia, si no, para otros cultivos alrededor del mundo como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Efecto de enmiendas OM y minerales en el rendimiento de los cultivos.

Cultivo	Enmienda / proporción	Rendimiento (kg/ha)	Efecto	Autor/año/lugar
frijol (*Phaseolus vulgaris L*.)	Urea (80 kg N/ha) + Zeolita (20 kg/ha).	1374,15	Diferente al testigo (sin aplicación), aumento en un 30,08% con respecto al testigo.	Díaz et al. (2009), (Quevedo-Ecuador).
Girasol (*Helianthus annuus L.*)	Urea (80 kg N/ha) CM[1] + 21% zeolita (50 kg N/ha)	5830	Diferencias con los demás tratamientos, valor más alto, aumento de un 25,10% con respecto al testigo (Urea).	Gholamhoseini et al. (2013), (Tehran – Irán)
Ryegrass (*Lolium perenne L*.)	OMF15[2] (150 kg N/ha)	6400	Sin diferencias entre tratamientos, aumento en un 28% con respecto a biosolidos.	Antille et al. (2014b), (Bedford-England).
Maíz (*Zea mays L*.)	Zeolita (15kg/ha) + Urea (100 kgN/ha).	4820	Diferente al testigo y al tratamiento solo con zeolita, aumento en un 94,35% con respecto al testigo.	Obregón et al. (2015), (Palmira-Colombia)
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	URA[3] 75% + enmienda OM[4] 25% (150kg N/ha), suelo ácido	2623,11	Sin diferencias entre tratamientos, aumento en un 12,65% con respecto al testigo (sin aplicación).	Obtenido en el presente trabajo
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	Urea 75% + enmienda OM 25% (150kg N/ha), suelo básico	1827,33	Sin diferencias entre tratamientos, aumento en un 40,11% con respecto al testigo (sin aplicación) y en un 9,73% con respecto a urea.	Obtenido en el presente trabajo

[1]Estiercol bovino. [2]15:4:4 (N:P:K) recubrimiento de gránulos de biosólidos con urea y potasio [óxido de potasio al 60% (K2O)]. [3]Urea recubierta de azufre. [4]Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

En la tabla 22 se observa que, todos los experimentos reportados con aplicaciones de enmiendas minerales, y OM con y sin mineral de arcilla, presentaron rendimientos superiores a los testigos y a otros tratamientos compuestos por fertilizantes orgánicos y de síntesis química en algunos cultivos como: frijol, girasol, ryegrass maíz y estevia.

Además, se observa que, las enmiendas minerales presentaron rendimientos mayores con respecto al testigo en el cultivo de maíz (Obregón et al., 2015); mientras que, con la aplicación de enmiendas OM con mineral de arcilla, los rendimientos fueron mayores con respecto al testigo en el cultivo de estevia con suelo ácido utilizado en el presente trabajo. También se puede ver que, con la aplicación de enmiendas OM con minerales de arcilla (montmorillonita y zeolita), se

evidencian rendimientos superiores con respecto a los tratamientos compuestos solamente por urea, en los cultivos de estevia y girasol, mostrando porcentajes superiores en el cultivo de girasol.

En el rendimiento del cultivo de estevia con aplicaciones de enmiendas OM, se evidencia el mismo comportamiento que en el PSA, es decir, los mejores resultados se obtuvieron con las combinaciones de enmiendas OM con FLL y urea en proporciones de 25%, para suelo ácido y básico respectivamente.

Finalmente se resalta que, los tratamientos que tuvieron resultados sobresalientes en las propiedades agronómicas del cultivo de estevia expuestas en el suelo ácido, fueron aquellos mezclados en proporciones 75% FLL- 25% para las propiedades analizadas (AT6). Mientras que, en el suelo básico, los tratamientos BT6, BT7 y BT3, tuvieron mejores resultados para el NF, número de hojas y PSA, respectivamente.

Estos efectos con la combinación de FLL y OM (mezcla predominante) en las propiedades agronómicas del cultivo, se pueden dar, debido a que el FLL como fertilizante de liberación controlada o lenta, libera el nutriente (N) de forma que, aumenta significativamente más tiempo su disponibilidad para la absorción de la planta que un fertilizante común (FAO, 2002). Además, al combinarse con la enmienda OM, aumenta el tiempo de disponibilidad del N para el cultivo, manteniéndolo disponible, de acuerdo al crecimiento de la planta, promoviendo la generación de hojas nuevas en el cultivo durante todo su desarrollo, el PSA y el rendimiento de la estevia.

Es importante mencionar que las características del suelo son un factor representativo, ya que, al comparar las variables en ambos tipos de suelo, se observa que el suelo ácido presentó valores más altos en la mayoría de estas en comparación con el suelo básico, mostrando que el tipo de suelo y sus características físico químicas, tiene una gran influencia en la asimilación y disponibilidad de los nutrientes para la planta y consecuentemente en el desarrollo y rendimiento del cultivo.

6.2.3 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales en las variables de dos tipos de suelo

De todas las variables evaluadas en ambos tipos de suelo (ácido y básico), se encontraron diferencias significativas en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el porcentaje de nitrógeno total (NT); además para el suelo ácido, también se evidenciaron diferencias significativas en la acidez intercambiable (tabla 23).

Tabla 23. Valores de variables de suelo con diferencias significativas, por tratamiento para cada tipo de suelo.

Tipo de suelo	Tratamiento	CIC* (cmol/kg)		% Nitrógeno Total (NT)		Acidez intercambiable (meq/ 100g suelo)	
		Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
Suelo ácido	AT1	11,427e**	0,997	0,023c	0,005	0,567ab	0,044
	AT2	17,900de	0,723	0,150ab	0,052	1,500a	0,513
	AT3	24,400bcd	1,629	0,106abc	0,020	0,583ab	0,073
	AT4	23,200cd	1,518	0,101abc	0,023	0,517b	0,044
	AT5	26,833abc	2,603	0,047bc	0,007	0,400b	0,050
	AT6	33,133a	2,270	0,215a	0,054	0,417b	0,033
	AT7	31,767ab	1,466	0,047bc	0,007	0,400b	0,029
Suelo básico	BT1	21,367b	1,184	0,093abc	0,009	NA***	NA
	BT2	22,533b	0,841	0,136ab	0,018	NA	NA
	BT3	22,000b	3,051	0,016c	0,003	NA	NA
	BT4	24,200b	0,361	0,031bc	0,011	NA	NA
	BT5	27,533a	0,567	0,039abc	0,018	NA	NA
	BT6	26,667a	0,960	0,024bc	0,007	NA	NA
	BT7	27,267a	0,437	0,170a	0,068	NA	NA
Valores de p para ambos suelos		**Pr ácido**	**Pr básico**	**Pr ácido**	**Pr básico**	**Pr ácido**	
		4.37E-06	0,0198	0,0012	0,0028	0,0167	

*Capacidad de intercambio catiónico. **Valores seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (Pr > F). ***No aplica. AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM, BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM

En la tabla 23 se observa que, para la CIC en ambos suelos, los tratamientos con mezclas de FLL y OM presentaron diferencias significativas con otros tratamientos y mostraron los mejores resultados del grupo. Teniendo en cuenta la valoración de la CIC expuesta por Oliveira et al. (2006) (Tabla 24), el suelo ácido antes de iniciar el experimento se encontraba en el rango correspondiente a una CIC débil, es decir, un suelo no muy fértil, mientras que el suelo básico se encontraba apenas sobrepasando los límites inferiores del rango normal; sin embargo, al finalizar la investigación, los tratamientos con mejores comportamientos en la CIC (aquellos compuestos por FLL y OM en ambos suelos en distintas cantidades), para el suelo ácido se ubicaron en el rango de CIC muy elevada, mientras que para el suelo básico no superaron el rango de elevada; observando que estos tratamientos aumentaron la CIC del suelo, en comparación con el testigo y el tratamiento compuesto solo por urea, principalmente.

Tabla 24. Valoración de la CIC según su resultado.

CIC (Cmol/kg)	Valoración
<6	Muy débil

6-10	Débil
10-20	Normal
20-30	Elevada
>30	Muy elevada

Fuente: Oliveira et al. 2006

Es importante resaltar que, para ambos suelos los tratamientos con contenidos de FLL aumentaron la CIC con respecto a la inicial en valores de 21,3-28,7 cmol/kg y 14,6-16,3 cmol/kg, para el suelo ácido y básico respectivamente, mientras que, se observó un aumento de la CIC en comparación con los testigos en rangos de 18,77-26,17 cmol/kg y de 5,03-6,73cmol/kg, para cada suelo correspondientemente.

Este aumento en la CIC sigue la tendencia de diferentes investigaciones alrededor del mundo, en las que la CIC ha mostrado comportamientos importantes con la aplicación de enmiendas minerales y órgano minerales, en diferentes tipos de suelos sembrados con distintos cultivos como se muestran en la tabla 25.

Tabla 25. Efecto de enmiendas OM y minerales en la CIC de suelos sembrados con diferentes cultivos.

Cultivo/ suelo	Enmienda / proporción	CIC[1] (cmol/kg)	Efecto	Autor/año/lugar
Maíz (*Zea mays L.*) / ligeramente acido	Zeolita cp[2] (120 kg/ha) + Urea (200kgN/ha).	10.04	Sin diferencias entre tratamientos; aumento de un 2,9% con el testigo y 6% con Urea.	Civeira y Rodríguez (2011), (Buenos Aires - Argentina).
Maíz (*Zea mays L.*) / ligeramente acido	Zeolita (15kg/ha) + Urea (100 kgN/ha).	40,60	Sin diferencias entre tratamientos, valor mayor del grupo, aumento en un 3.04% con el testigo y en 19,67% con Urea.	Obregón et al. (2015), (Palmira-Colombia)
Girasol (*Helianthus annuus L.*) / suelo neutro	Urea (80 kg N/ha) CM[3] + 21% zeolita (50 kg N/ha)	8,70	Diferencias con todos los tratamientos; aumento en un 24,28% con el Urea y en 6,09% con el fertilizante orgánico.	Gholamhoseini et al. (2013), (Tehran – Irán)
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* / suelo ácido	URA[4] 75% + enmienda OM[5] 25% (150kg N/ha), suelo ácido	33,13	Diferencias con todos los tratamientos sin contenidos de OM y FLL, valor mayor, aumento en un 189,95% con el testigo y en un 85,1% con Urea.	Obtenido en el presente trabajo
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*/ suelo básico	URA 50% + enmienda OM 50% (150kg N/ha), suelo básico	27,27	Diferencias con todos los tratamientos sin FLL, aumento en un 27,61% con el testigo y en un 21% con Urea.	Obtenido en el presente trabajo

[1]Capacidad de intercambio catiónico. [2]Clinoptilolita. [3]Estiércol bovino. [4]Urea recubierta de azufre. [5]Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

En la tabla 25, se observa que tanto las enmiendas minerales (Civeira y Rodríguez, 2011 y Obregón et al. ,2015) como las órgano minerales (Gholamhoseini et al., 2013 y en el trabajo actual) presentan valores superiores en comparación con el testigo, sobre todo en el suelo ácido sembrado con estevia, resaltando que en los casos donde se aplicó enmienda mineral, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.

También se evidencia que el aumento en la CIC del suelo, supera a los valores reportados de los tratamientos compuestos solo por Urea, en todos los casos, tipos de suelo y cultivo; sobre todo, en el suelo ácido sembrado con estevia.

Es importante mencionar que todas las investigaciones mostradas en la tabla 15, exponen aplicaciones de enmiendas compuestas con minerales de arcilla (zeolita o montmorillonita, según el caso), promoviendo el aumento de la CIC del suelo, comportamiento similar al encontrado por Czaban y Siebielec (2013), en un experimento con aplicaciones de diferentes tasas de bentonita (montmorillonita) en un suelo acido de textura arenosa en Pulawy (Polonia), donde la CIC del suelo aumentó considerablemente en la primera capa del suelo (5-30 cm de profundidad) con la aplicación de 12 kg/m^2 de bentonita, mostrando diferencias significativas con los demás tratamientos. La aplicación de bentonita aumenta significativamente la CIC del suelo, como lo reportan Croker et al. (2004), Yssad y Belkhodja (2007) y, Suganya y Sivasamy (2006) en diferentes suelos alrededor del mundo.

Debido a lo expuesto anteriormente, la aplicación de diferentes minerales de arcilla al suelo, promueve el aumento en su CIC, por lo que, la montmorillonita (bentonita) como parte de la enmienda OM usada en la investigación, aumentó el valor de esta propiedad (igual que en otras investigaciones), sobre todo en combinaciones con FLL en ambos suelos.
Las combinaciones que mejoran la CIC de los suelos sembrados con estevia, fueron las compuestas por 75% FLL- 25% OM y 50% FLL- 50% OM, para el suelo ácido y básico respectivamente.

El porcentaje de nitrógeno total del suelo (NT), también se vio afectado por la aplicación de enmiendas OM, con diferencias significativas con el testigo y con algunos tratamientos en ambos suelos, presentando los mejores resultados con la mezcla de la enmienda OM con FLL, en proporciones de 75% FLL – 25% OM y 50% FLL – 50% OM, para el suelo ácido y básico respectivamente (AT6 y BT7).

Teniendo en cuenta los niveles relativos de NT en el suelo mencionados por González et al. (2015) (tabla 26), para el suelo ácido, el tratamiento AT6 en promedio se ubicó en el nivel alto, mientras que el tratamiento BT7, en el suelo básico estuvo dentro del nivel normal.

Tabla 26. Interpretación del Nitrógeno total del suelo.

Niveles característicos relativos	Nitrógeno Total (%)
Muy bajo	< 0,05
Bajo	0,05-0,1
Normal	0,10-0,20
Alto	0,20-0,30
Muy alto	>0,30

Fuente: González et al. 2015.

Daza et al. (2015b) en un experimento con estevia en Cali (Colombia), reportaron valores de NT entre 0,22 y 0,42%, con la aplicación de diferentes fertilizantes y dosis de N, sin encontrar diferencias significativas, obteniendo mejores resultados en tratamientos conformados por lombricompost, seguido de urea recubierta y de nitrato de calcio en distintas proporciones; pero al contrastar dichos resultados con el NF, los tratamientos con urea recubierta presentaron los menores valores. Esto podría deberse a que el contenido de NT esta principalmente en formas orgánicas que no permiten la rápida asimilación por parte de la planta. Mostrando que los fertilizantes de liberación lenta, favorecen el aumento del N en el suelo, comportamiento similar al observado en la investigación actual. Algunas tendencias similares a las obtenidas en el experimento, en NT, con aplicaciones de fertilización nitrogenada, combinadas con enmiendas minerales y órgano minerales, han sido reportadas por múltiples autores, en diferentes suelos sembrados con distintos cultivos y condiciones climatológicas, como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Efecto de enmiendas OM y minerales en el NT de suelos sembrados con diferentes cultivos.

Cultivo/suelo	Enmienda / proporción	NT[1] (%)	Efecto	Autor/año/lugar
Ryegrass (*Lolium perenne L.*) / ligeramente acido	OMF10[2] (150 kg N/ha)	0,210	Sin diferencias con los demás tratamientos, aumento de un 5% con el control y 10,5% con Urea.	Antille et al. (2014b), (Bedford-England).
Maíz (*Zea mays L.*) / ligeramente acido	Zeolita (15kg/ha) + Urea (100 kgN/ha).	0,261	Sin diferencias con los demás tratamientos, aumento de un 5,24% con Urea.	Obregón et al. (2015), (Palmira-Colombia)
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)* / suelo acido	URA[3] 75% + enmienda OM[4] 25% (150kg N/ha), suelo ácido	0,215	Diferencias con el testigo y con los tratamientos con FLL; aumento en un 834% con el testigo y en 43,33% con Urea.	Obtenido en el presente trabajo
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*/ suelo básico	URA 50% + enmienda OM 50%	0,170	Diferencia con algunos tratamientos, aumento en un 82,79% con el testigo y en un 25% con Urea.	Obtenido en el presente trabajo

	(150kg N/ha), suelo básico			

[1]Nitrógeno Total. [2]10:4:4 (N:P:K) recubrimiento de gránulos de biosólidos con urea y potasio [óxido de potasio al 60% (K2O)]. [3]Urea recubierta de azufre. [4]Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

En la tabla 27 se muestra el efecto de las enmiendas minerales y órgano minerales en el NT del suelo sembrado con diferentes cultivos, observando que, en todos los casos, las enmiendas superaron al testigo, sobre todo, en el suelo ácido sembrado con estevia; resaltando que, las únicas enmiendas que presentaron diferencias significativas, fueron las compuestas por montmorillonita en suelos cultivados con estevia.

De igual manera, todas las aplicaciones de enmiendas, superan los tratamientos compuestos solo por urea, sobre todo, en el suelo ácido sembrado con estevia; mostrando que, la aplicación de enmiendas minerales y órgano minerales, en diferentes suelos (principalmente ácidos y ligeramente ácidos), sembrados con cultivos como maíz, ryegrass y estevia, aumentan el NT en el suelo. Y como se mencionó anteriormente, mejoran algunas características de los cultivos.

En las investigaciones en las que no se encontraron diferencias significativas, este comportamiento fue atribuido a una rápida absorción de N disponible para todos los tratamientos con fertilizantes, bajo las condiciones experimentales predominantes (temperatura, humedad, entre otras) (Antille et al., 2014b).

Finalmente, se resalta de nuevo la importancia del mineral de arcilla en la enmienda organomineral y su efecto tanto en el cultivo como en los suelos; además, al comparar los valores de NT y NF, los comportamientos para ambos tipos de suelo fueron similares, es decir, los mejores resultados para ambas variables se obtuvieron en los tratamientos compuestos por FLL y OM, o con urea y OM, en diferentes combinaciones.

Para las variables del suelo analizadas, los tratamientos compuestos por FLL y OM en ambos suelos, tuvieron los mejores comportamientos (AT6 y BT7). Mostrando una vez más, la importancia del uso de enmiendas OM en el cultivo de estevia, mezcladas principalmente con FLL; además de mejorar propiedades de diferentes suelos.

En cuanto al efecto de la enmienda OM en la acidez intercambiable del suelo ácido, se observó un buen comportamiento en la disminución de esta propiedad en suelos con pH bajos, mostrando diferencias significativas con el testigo y con el tratamiento compuesto solo por urea. Resultados esperados, en los que se evidencia que los fertilizantes de síntesis química (urea para este caso), aumentan la acidez del suelo, ya que como se mencionó anteriormente, la urea se hidroliza con rapidez, produciendo iones de amonio y de amoniaco, el amonio es absorbido por las arcillas

y eventualmente nitrificado; en este proceso, al convertir NH_4+ en NO_3^-, se liberan iones H+, produciendo acidez en el suelo.

Todos los tratamientos con contenidos de OM, presentaron disminución en la acidez intercambiable del suelo, sobre todo aquellos con combinación de FLL.

6.2.4 Efecto de la aplicación de enmiendas órgano minerales sobre los Índices de eficiencia de fertilización nitrogenada

En los dos tipos de suelo se analizaron dos índices de fertilización nitrogenada, la eficiencia agronómica de recuperación (EA) y la eficiencia aparente de recuperación (ER), planteados por Dobermann (2007). EA fundamentado en el rendimiento del cultivo o gramos de MSA (para el caso de la estevia), y ER en la absorción del N de la planta con relación en el N aplicado. Se encontraron diferencias significativas en la ER del suelo ácido, mientras que en la EA no se observaron diferencias entre tratamientos para ninguno de los dos suelos (ácido y básico) como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Valores de variables de eficiencias de fertilización nitrogenada (EA y ER) por tratamiento para cada tipo de suelo.

Tipo de suelo	Tratamiento	EA* (g MSA/ g N aplicado)		ER** (g N absorbido/ g N aplicado)	
		Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
Suelo ácido	AT2	2,753	1,697	0,081a***	0,016
	AT3	1,573	0,426	0,035b	0,001
	AT4	-2,802	1,805	0,012b	0,007
	AT5	1,721	1,228	0,039b	0,004
	AT6	1,967	0,469	0,039b	0,003
	AT7	0,246	1,032	0,018b	0,006
Suelo básico	BT2	2,409	0,734	0,009	0,009
	BT3	3,491	0,724	-0,006	0,011
	BT4	2,114	0,437	0,001	0,009
	BT5	4,326	1,275	0,000	0,006
	BT6	2,163	0,492	0,014	0,006
	BT7	3,245	0,225	0,007	0,008
Valores de p para ambos suelos		**Pr ácido**	**Pr básico**	**Pr ácido**	**Pr básico**
		0,0803	0,2705	0,0008	0,6157

*Eficiencia agronómica de recuperación. **Eficiencia aparente de recuperación. ***Valores seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (Pr > F). AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM, BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea-50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM

En la EA, a pesar de no presentar diferencias significativas entre los tratamientos, se observó que la aplicación de enmiendas OM presentó resultados mayores con

respecto a otros tratamientos sin presencia de OM en ambos suelos, siendo las combinaciones de 25% OM y 75% FLL y urea (AT6 y BT3), los tratamientos con mejores resultados después de los compuestos solo por Urea y FLL para el suelo ácido y básico respectivamente.

Se debe resaltar que el tratamiento compuesto por urea y OM en porcentajes de 50%-50%, tuvo resultados negativos para este índice, lo que significa que el rendimiento del tratamiento testigo fue mayor.

Aunque en la literatura se encuentran pocas investigaciones en cuanto a índices de eficiencia de fertilización en cultivos con aplicaciones de enmiendas minerales y órgano minerales, en la tabla 29, se muestra el efecto de las enmiendas en la EA de diferentes cultivos.

Tabla 29. Efecto de enmiendas OM y minerales en la eficiencia agronómica de recuperación, de suelos sembrados con diferentes cultivos.

Cultivo	Enmienda / proporción	EA* (g MSA/ g N aplicado)	Efecto	Autor/año/lugar
Maíz (*Zea mays L*.)	Zeolita (15kg/ha) + Urea (100 kgN/ha).	29,00	Sin diferencias con los demás tratamientos, aumento en un 7,4% con la Urea.	Obregón et al. (2015), (Palmira-Colombia)
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	URA* *75% + enmienda OM*** 25% (150kg N/ha), suelo ácido	1,97	Sin diferencias con los demás tratamientos, aumento en un 14,29% con el FLL.	Obtenido en el presente trabajo)
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	Urea 75% + enmienda OM 25% (150kg N/ha), suelo básico	3,49	Sin diferencias con los demás tratamientos, aumento en un 44,9% con la Urea.	Obtenido en el presente trabajo

*Eficiencia agronómica de recuperación. **Urea recubierta de azufre. ***Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

En la tabla 29 se puede observar que, la aplicación de enmiendas minerales y órgano minerales en cultivos como maíz y estevia, aumentan en porcentajes considerables la EA de estos cultivos, con respecto a tratamientos compuestos solo por fertilizantes como urea y URA (Fertilizante de liberación lenta o controlada).

Es importante resaltar que la EA es mayor en el suelo básico que en el suelo ácido sembrado con estevia, debido a la diferencia obtenida entre el testigo y el tratamiento con mayor rendimiento. Es decir, a pesar de que en el suelo básico se obtuvo un rendimiento por debajo del mostrado en el suelo ácido (796 kg/ha menos), la diferencia entre el testigo fue mayor (40,11%) comparada con la encontrada en el suelo ácido (12,65%), disminuyendo considerablemente el valor de la EA. Lo que quiere decir que, el hecho de que el rendimiento sea mayor con respecto a otros tipos de suelo, no implica que la eficiencia agronómica sea más alta, ya que esta

depende directamente del rendimiento obtenido por el testigo sin aplicación de fertilizante.

En comparación con otros cultivos como los cereales, los valores de la EA obtenidos en estevia fueron mucho menores, sin embargo, son pocas las investigaciones en las que se determina este índice para plantas similares. Una de ellas, es la reportada por Berti et al. (2000), en la cual determinaron diferentes eficiencias de fertilización nitrogenada en el cultivo de hierba de San Juan (*Hypericum perforatum* L.), en la Universidad de Concepción (Chile), reportando valores entre 2,3 y 5,2 kg biomasa/ kg de N aplicado, con aplicaciones de 300 kg N/ha; datos similares a los encontrados en la investigación actual.

Otras investigaciones con diferentes fuentes de N en cultivos como Haba (*Vicia faba* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.), han reportado valores entre 6,48 y 9,93 kg biomasa/ kg de N aplicado, en las aplicaciones con mayor cantidad de N (Pichardo et al., 2007) y entre 8 y 13,07 kg biomasa/ kg de N aplicado, para dosis de 20 g N/m^2 (Olalde et al., 2000), en cada cultivo respectivamente. Además, en ambos casos, encontraron que, a medida que se aumenta la tasa de fertilización, disminuye la EA del N.

Los valores de EA mencionados anteriormente, en su gran mayoría, corresponden a aplicaciones de N en forma de fertilizante de síntesis química, mostrando valores menores a los estipulados por Dobermann (2007) para los cereales. Lo anterior evidencia qué para muchos cultivos, entre ellos la estevia, los valores de EA son menores, necesitando estudiarse más a fondo, y con aplicaciones de diferentes tipos de fertilizantes como combinaciones con enmiendas OM, las cuales pueden aumentar esta eficiencia, como se evidencia en la investigación

En cuanto a la eficiencia aparente de recuperación (ER), se encontraron diferencias significativas en el suelo ácido, observando que, todos los tratamientos fueron diferentes al compuesto solamente por urea; sin embargo, el mejor tratamiento con contenidos de OM, fue el compuesto por 75% FLL y 25% OM, de igual manera que en el suelo básico, pero sin presentar diferencias significativas.

En el suelo básico, el tratamiento compuesto por 75% urea y 25% OM, presentó valores negativos para la ER, mostrando que, la absorción de N por parte del testigo fue mayor, ocasionando valores negativos en esta propiedad. Por lo que, como menciona Berti et al. (2000), se requieren técnicas más avanzadas para estudiar la baja absorción de N por parte de la planta, que puede generar estos valores negativos.

En la tabla 30, se comparan algunos efectos en la ER, por la aplicación de enmiendas OM en diferentes cultivos.

Tabla 30. Efecto de enmiendas OM en la eficiencia aparente de recuperación, de suelos sembrados con diferentes cultivos.

Cultivo	Enmienda / proporción	ER[1] (g N abs/ g N aplicado)	Efecto	Autor/año/lugar
Ryegrass (*Lolium perenne L*.)	OMF15[2] (150 kg N/ha)	0,600	Sin diferencias con los demás tratamientos, aumento en un 20% con biosólidos.	Antille et al. (2014b), (Bedford-England).
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	URA[3] 75% + enmienda OM[4] 25% (150kg N/ha), suelo ácido	0,039	Diferencia solo con Urea, (menor a la Urea), valores semejantes a FLL.	Obtenido en el presente trabajo
Estevia (*Stevia rebaudiana B.)*	URA 50% + enmienda OM 50% (150kg N/ha), suelo básico	0,014	Sin diferencias con los demás tratamientos, aumento en un 55,5% con la Urea.	Obtenido en el presente trabajo

[1]Eficiencia aparente de recuperación. [2]15:4:4 (N:P:K) recubrimiento de gránulos de biosólidos con urea y potasio [óxido de potasio al 60% (K2O)]. [3]Urea recubierta de azufre. [4]Enmienda órgano mineral compuesta por montmorillonita (45%) y lombricompost (55%).

En la tabla 30, se puede observar que, al aplicar enmiendas OM en los cultivos de Ryegrass y Estevia, se evidencia un aumento de la ER con respecto a diferentes tratamientos como los biosólidos y la urea, para cada cultivo respectivamente. Mostrando que, las enmiendas OM como parte de la fertilización nitrogenada, contribuyen a mejorar la ER del N en ambos cultivos, con diferentes condiciones.

También se observa que los valores encontrados para la estevia son muy bajos con respecto al Ryegrass, pero, en comparación con la hierba de San Juan (*Hypericum perforatum* L), en la que se reportan valores entre 0,082- 0,18 g N absorbido/ g N aplicado (8,2% - 18%) (Berti et al., 2000); los resultados encontrados en la investigación, son más cercanos a estos, debido a que también es un cultivo aromático; evidenciando que, en todos los cultivos, esta eficiencia puede ser mayor o menor y no son comparables entre ellos.

Los valores encontrados, también pueden indicar, que gran parte de las aplicaciones de fertilizante no es absorbido del todo por la especie, lo cual requiere de un mayor estudio para determinar la razón de la baja absorción ocurrida en los experimentos, como lo menciona Berti et al. (2000), quien afirma que la eficiencia de fertilización nitrogenada para los cultivos está por debajo del 50%.

Finalmente, en la tabla 31, se muestra la absorción de N por cada tratamiento, en el cultivo de estevia, mostrando el reflejo de los resultados de la ER, donde los mejores tratamientos con contenidos de OM, fueron los combinados en proporciones 75% FLL y 25% OM para ambos suelos (AT6 yBT6).

Tabla 31. Absorción de nitrógeno (kg/ha) para ambos suelos en cada tratamiento.

SUELO ÁCIDO			SUELO BÁSICO		
TRATAMIENTO	mg N abs/planta	Kg N abs/ha	TRATAMIENTO	mg N abs/planta	Kg N abs/ha
AT1*	6,00	1,33	BT1	23,37	5,17
AT2	61,45	13,58	BT2	28,72	6,35
AT3	29,62	6,55	BT3	20,10	4,44
AT4	14,87	3,29	BT4	23,79	5,26
AT5	32,59	7,20	BT5	29,42	6,50
AT6	32,75	7,24	BT6	34,00	7,51
AT7	17,86	3,95	BT7	30,07	6,65

*AT1= Testigo, AT2=100% Urea, AT3= 75% Urea - 25% OM, AT4= 50% Urea- 50% OM, AT5= 100% FLL, AT6= 75% FLL-25% OM, AT7= 50% FLL-50% OM, BT1= Testigo, BT2=100% Urea, BT3= 75% Urea - 25% OM, BT4= 50% Urea- 50% OM, BT5= 100% FLL, BT6= 75% FLL-25% OM, BT7= 50% FLL-50% OM.

Civeira y Rodríguez (2011), en un experimento con aplicaciones de N (urea) y zeolita (cliptonilolita) en diferentes proporciones en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), en Buenos Aires (argentina), reportaron que el N absorbido fue significativamente incrementado por la aplicación de N como fertilizante desde 1,23 a 1,77 g N/maceta. La zeolita sola no tuvo diferencias significativas con el testigo. La incorporación de zeolitas junto al fertilizante incrementó el nivel de N absorbido respecto del testigo en las dosis aplicadas, obteniendo valores de absorción de N entre 600 y 1800 mg/ maceta, con diferencias significativas con el tratamiento con 120 kg de zeolita/ha en combinación con 200 kg N/ha. Estos valores fueron mayores a los obtenidos en el presente experimento (tabla 21), aunque se debe considerar que, la fertilización nitrogenada en el experimento fue menor (150 kg N/ha); sin embargo, se encontró similar tendencia en cuanto al efecto positivo que pueden lograr las enmiendas órgano minerales con minerales de arcilla en la fertilización nitrogenada de los cultivos, y consecuentemente en la ER.

Se debe resaltar que la baja eficiencia y absorción de N observada, podría deberse a los errores en la estimación de recuperación de nitrógeno, pues se consideró sólo la parte aérea y se ignoró el N presente en las raíces (Berti et al., 2000).

Finalmente, se resaltan los tratamientos con contenidos de OM que mejores resultados presentaron en la EA y la ER; para el suelo ácido fue el tratamiento con 75% FLL y 25% OM para ambos índices, mientras que, para el suelo básico, estuvieron compuestos por 75% Urea -25% OM y 75% FLL- 25% OM para cada índice respectivamente.

7. CONCLUSIONES

Las pérdidas de nitrógeno por lixiviación en el cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana B.*), están directamente relacionadas con la cantidad de lámina de agua aplicada a la planta en sus diferentes fases de crecimiento; es decir, a mayor cantidad de agua, mayores probabilidades de lixiviación del recurso hídrico y de los nutrientes disponibles para la planta.

Los tratamientos no presentaron lixiviación debido a la cantidad de agua aplicada diariamente al cultivo.

La aplicación de enmiendas órgano minerales, en proporción de 75% fertilizante de liberación lenta – 25% enmienda órgano mineral, en un suelo ácido sembrado con estevia, mejora las variables agronómicas del cultivo (porcentaje de nitrógeno foliar, número de hojas, pesos seco aéreo y rendimiento), en comparación con el testigo, la urea (número de hojas) y el fertilizante de liberación lenta (Peso seco aéreo y rendimiento).

La aplicación de enmiendas órgano minerales, en combinaciones de 75% fertilizante de liberación lenta - 25% enmienda órgano mineral y 50% fertilizante de liberación lenta - 50% enmienda órgano mineral en un suelo básico sembrado con estevia, mejoran el porcentaje de nitrógeno foliar y el número de hojas en la planta, en comparación con el testigo, la urea y el fertilizante de liberación lenta.

La aplicación de enmiendas órgano minerales, en combinaciones de 75% Urea - 25% enmienda órgano mineral, en un suelo básico sembrados con estevia, aumenta el peso seco aéreo y el rendimiento del cultivo, en comparación con el testigo, la urea y el fertilizante de liberación lenta.

El cultivo de estevia sembrado en el suelo ácido, presentó mejores resultados en sus características agronómicas en comparación con el cultivo en el suelo básico, mostrando que el tipo de suelo y sus características físico químicas, tiene una gran influencia en la asimilación y disponibilidad de los nutrientes para la planta y consecuentemente en el desarrollo y rendimiento del cultivo.

La aplicación de enmiendas órgano minerales, en combinaciones de 75% fertilizante de liberación lenta – 25% enmienda órgano mineral y 50% fertilizante de liberación lenta – 50% enmienda órgano mineral, en dos suelos representativos del Valle del Cauca (ácido y básico, respectivamente), aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo y el porcentaje de nitrógeno total, en comparación con los testigos, la aplicación de urea y de fertilizante de liberación lenta.

En plantas aromáticas como la estevia, los índices de fertilización nitrogenada (eficiencia agronómica y eficiencia aparente de recuperación), presentan valores menores en comparación con otros cultivos, como los cereales.

La eficiencia agronómica y la eficiencia aparente de recuperación en el suelo ácido sembrado con estevia, aumenta con la aplicación de enmiendas órgano minerales combinadas con fertilizante de liberación lenta en proporción (25:75), y en suelo básico la eficiencia agronómica aumenta con la misma combinación, pero la eficiencia aparente mejora con la combinación de enmienda órgano mineral con Urea en la misma proporción.

La aplicación de enmiendas órgano minerales mezcladas con fertilizante de liberación lenta, en un suelo básico sembrado con estevia, tiene mayor impacto en algunas propiedades agronómicas del cultivo, del suelo e índices de fertilización, en comparación con la mezcla entre enmienda y Urea.

8. RECOMENDACIONES

Para determinar mejor el comportamiento de las enmiendas en la retención de nitrógeno en los diferentes suelos sembrados con estevia, se recomienda provocar una lixiviación obligada, con el fin de medir el nitrato y amonio presentes en los lixiviados y consecuentemente el efecto de las enmiendas en dicha retención.

Se recomienda ajustar el coeficiente de riego de la estevia (Kc), para cada etapa de crecimiento días después del trasplante, en cultivos con condiciones controladas (bajo invernadero), en el Valle del Cauca.

Se deben llevar a cabo nuevas investigaciones, donde se evalúe la aplicación de enmiendas órgano minerales con fertilizante de liberación lenta, en proporciones más ajustadas, en el cultivo de estevia sembrado en campo abierto, con diferentes tipos de suelo.

En nuevos experimentos, se debe tener en cuenta el contenido de nitrógeno del tallo y raíces de la planta, para la determinación y el ajuste de la eficiencia aparente de recuperación en el cultivo de estevia.

Es recomendable estudiar más a fondo, los valores de las eficiencias de fertilización nitrogenada en cultivos aromáticos, estableciendo comportamientos normales y valores mayores o menores con respecto a otros cultivos y fuentes de aplicación de nitrógeno.

Para conocer que sucede realmente con el nitrógeno aplicado por diferentes fuentes de fertilizantes, se recomienda utilizar técnicas más avanzadas para la determinación de las formas de nitrógeno, como la técnica con isotopos ^{15}N.

Se recomienda realizar el muestreo y las mediciones de los parámetros de suelo, a diferentes profundidades, ya que las formas de nitrógeno, pueden aumentar o disminuir según los estratos de suelo, además de tener en cuenta la profundidad efectiva de raíces de la estevia, para tales mediciones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Ahamefule, H., Nwokocha, C. y Amana, S. 2015. Stability and Hydrological Modifications in a Tilled Soil under Selected Organic Amendments in South-Eastern Nigeria. Albanian j. agric. sci.,14 (2),127-136

Aladakatti, Y.; Palled, Y.; Chetti, M.; Halicatti, S.; Alagundagi, S.; Patil, P.; Patil, V. y Janawade, D. 2012. Effect of irrigation schedule and planting geometry on growth and yield of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). Karnataka J. Agric. Sci. 25 (1) : 30-35.

Alarcón, S. y Reyes, A. 2013. Evaluación de la erodabilidad de los suelos Typic dystrudepts, Typic Hapludands y Andic Dystrudepts mediante simulador de lluvia en la microcuenca La Centella (Dagua-Valle del Cauca). Revista ingeniería de los recursos naturales y del ambiente –EIDENAR. 12 (1), 49-57.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO. Estudio Riego y Drenaje N° 56. 300 p.

Antille, D., Sakrabani, R. y Godwin, R. 2014a. Nitrogen release characteristics from biosolids derived organomineral fertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45, 1687–1698.

Antille, D., Sakrabani, R. y Godwin, R. 2014b Effects of biosolids-derived organomineral fertilizers, urea, and biosolids granules on crop and soil established with Ryegrass (*Lolium perenne L*.). Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45, 1605–1621.

Arauzo, M. y M. Valladolid. 2013. Drainage and N-leaching in alluvial soils under agricultural land uses: implications for the implementation of the UE Nitrates Directives. Agr. Ecosyst. Environ. 179, 94-107.

Berti, M.; Hevia, F.; Wilckens, R.; Joublan, J.; Serri, H. y Allende, J. 2000. Fertilización nitrogenada del cultivo de hierba de san juan (*hypericum perforatum l.*) en Chillan, provincia de Ñuble, Chile. Cien. Investig. Agr. 27(2):107-116.

Bonilla, C., Sánchez, M. y Perlaza, D. 2007. Evaluación de métodos de propagación, fertilización nitrogenada y fenología de estevia en condiciones del Valle del Cauca. Acta agronómica. 56 (3), 131-134.

Burbano, O, H. 2001. Lo Biorgánico en el Manejo Productivo del Suelo. En Manejo Productivo de suelos para Cultivos de Alto Rendimiento. Sociedad Colombiana de

la Ciencia del Suelo, Comité Regional del Valle del Cauca, Palmira, Septiembre 27-28.

Cassman, G.; Dobermann, A. y Walters, D. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. Ambio. 31(2):132-140.

Cárdenas, N., Sánchez, J., Farías, R. y Peña, J. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. Revista Chapingo serie hortícola. 10 (2), 173-175.

Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia (CENICAÑA). 2016. Boletines diarios de la Red Meteorológica Automatizada – RMA. Disponible en: http://www.cenicana.org/clima_/boletin_meteoro_diario.php?consulta=2&ema=15&days=10&months=7&years=2016# Consulta: Julio y Agosto de 2016.

Cerón, L. y Aristizábal, F. 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. Revista Colombiana de biotecnología. 14 (1), 285-295.

Chaveli P., Corrales I. y Font l. 2013. Efecto de la aplicación de mezclas de abono organomineral en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) sobre un suelo pardo sialítico mullido no carbonatado. Revista agrisost. 19 (2), 1-9.

Chaveli, P.; Caballero, R.; Barroso, R. y Rodríguez, D. 2012. Uso de la zeolita natural como complemento del abonado orgánico en el cultivo de hortalizas en huertos intensivos. Centro Agrícola. 39(1), 63-67.

Chumthong, B. y Detpiratmongkol, S. 2016. Effects of Different Types of Manures and Levels of Applications on Growth and Yield of Stevia (*Stevia rebaudiana*). International Journal of Agricultural Technology. 12(7.1):1367-1373

Civeira, G. y Rodríguez, M. 2011. Nitrógeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema suelo-planta-zeolitas. Ciencia del Suelo (Argentina). 29(2): 285-294.

CONPES (Consejo nacional de política económica y social), departamento nacional de planeación. 2009. CONPES 3577: Política nacional para la racionalización del componente de costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario. Bogotá, Colombia.

Croker, J.; Poss, R.; Hartmann, C. y Bhuthorndharaj, S. 2004. Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical Sandy soil. Plant soil. 267: 155-163.

Czaban, J. y Siebielec, G. 2013. Effects of Bentonite on Sandy Soil Chemistry in a Long-Term Plot Experiment (II); Effecton pH, CEC, and Macro- and Microntrients. Pol. J. Environ. Stud. 22 (6): 1669-1676.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2012. Importancia de los fertilizantes nitrogenados. Boletín mensual: Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Septiembre de 2012 (3), 1-4.

Daza, M., Meneses, H., Reyes, A. y Urrutia, N. 2017. Necesidades hídricas de estevia calculadas con el coeficiente del cultivo. Agron. Mesoam. 28(2):509-521.

Daza, M., Jurado, J. Torres, V. 2015a. Efecto de la aplicación de diferentes láminas de riego en Estevia (*Stevia rebauadiana Bert*) bajo invernadero. Revista temas agrarios. 20 (1), 83-92.

Daza, M., Díaz, J., Aguirre, E. y Urrutia, N. 2015b. Efecto de abonos de liberación lenta en la lixiviación de nitratos y nutrición nitrogenada en estevia. Revista colombiana de ciencias hortícolas. 9 (1):112-123.

Díaz, G.; Sánchez, F.; Llerena, L. y Vásconez, G. 2009. Empleo de zeolitas naturales en la fertilización y producción del fréjol (*Phaseolus vulgaris l*.) en la zona de Quevedo. Ciencia y Tecnología 3: 1-6.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. Proc. Of International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Bruselas, Belgica. Marzo 7-9.

Dushyant, S.; Maji, S.; Kumar, S.; Maurya, A. y Meena, A. 2014. Efficacy of organic manures on growth, yield and biomolecules of stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*). Journal of Crop and Weed. 10(1):107-110

Estupiñan, s. y Quesada, B. 2010. El proceso Haber-Bosch en la sociedad agroindustrial: peligro y alternativas. Consejo Latinoamericano de ciencias sociales. 76-93.

FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación), 2002. Los fertilizantes y su uso. Roma, Italia. Pp: 33-44.

FAOSTAT. 2001. Statistical databases, http://apps.fao.org. Fecha de consulta: 27 de Octubre de 2015.

Fernández, M.L. 2011. Contaminación por fósforo procedente de la fertilización orgánica de suelos agrícolas. Servicio de publicaciones e intercambio científico: Gestión de residuos orgánicos agrícolas. Capítulo 2: 25-37.

Fronza, D. y Folegatti, M. 2003. Water consumption of the estevia (*stevia rebaudiana (bert.) bertoni*) crop estimated through microlysimeter. Scientia Agricola. 60(3): 595-599.

Galloway, J., Towsend, A., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., feney, J., Martinelli, L., Seitzinger, S. y Sutton, M. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. Science 320: 889 – 892.

Garrido, M. 1994. Interpretación de análisis de suelo: Hojas divulgadoras. Ministerio de agricultura, alimentación y pesca de España. N° 5 (93).

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. y Farmanbar, E. 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. Soil & Tillage Research.126 (2013):193–202.

González, R.; Paniagua, J. y Mayeregger, E. 2002. Necesidad de agua para el cultivo de Estevia (*Stevia rebaudiana, Bert.*) calculado sobre la base de lectura de microlisímetro. Investigación Agraria. 4(2): 19-24.

González, V.; Leal, M.; Lillo, J.; De Bustamante, I. y Palacios, P. 2015. Guía de caracterización edáfica para actividades de regeneración de aguas residuales en usos ambientales. Red Consolider Tragua. Gobierno de España. En: http://www.consolider-tragua.com/documentos/guia_caracterizacion_edafica.pdf; consulta: Agosto de 2017.

Hirel, B., Tétu, T., Lea, P. y Dubois, F. 2011. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. Sustainability 3: 1452 – 1485

Ibañez, J. 2007. ¿Cuánto Pesa un Metro Cuadrado de la Capa Arable del Suelo?: ¿Qué es la Densidad Aparente? (por Régulo León Arteta). Fundación para el conocimiento de Madrid: Un universo invisible bajo nuestros pies. En: http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/16/65688 consulta: Septiembre de 2017.

IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de energía). 2007. Ahorro, eficiencia energética y fertilización nitrogenada: Agricultura. Pp 15.

IGAC. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 6ta ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.Medellín Pp 346.

Jarma, A., Combatt, E. y Cleves, J. 2010. Aspectos nutricionales y metabolismo de *Stevia rebaudiana* (Bertoni). Una revisión. Agronomía colombiana. 28 (2), 199-208.

Jurado, A. y Torres, A. 2013. Estimación del coeficiente multiplicador de la evapotranspiración para un cultivo de Estevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*). Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Malekian, R., Abedi-Koupi, J. y Saeid, S. 2010. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. Journal of Hazardous Materials. 185 (2011), 970–976

Maniruzzaman, M.; Chowdhury, A.; Mohiuddin, K. y Chowdhury, T. 2016. Nitrogen requirement and critical N content of stevia grown in two contrasting soils of Bangladesh. Research in Agriculture, livestock and fisheries. 3(1): 87-97.

Mckean, S. 1993. Manual de análisis de suelo y tejido vegetal: Una guía teórica y práctica de metodologías. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Palmira-Colombia.

Mosier, A.; Syers, J. and Freney, J. 2004. Agriculture and the nitrogen cycle. Appendix. SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment). 65:279.

Nannipieri P. y Eldor P. 2009. The chemical and functional characterization of soil N and its biotic components. Soil Biology and Biochemistry. 41(12): 2357-2369.

Nasrin D, 2008. Effect of nitrogen on the growth, yield and nutrient uptake by stevia. MS Thesis, Department of Agricultural Chemistry, Bangladesh Agricultural University.

Niño, J.; Cuervo, J. y Villalobos, R. 2013. Efecto del potencial mátrico del suelo en el crecimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). Revista colombiana de ciencias hortícolas. 7(2): 240-251

Novoa, R. y Villagrán, N. 2000. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agric. Téc. 62 (1): 166-171.

Obregón, N.; Díaz, J.; Daza, M.C. y Aristizabal, H. 2016. Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. Acta Agronómica. 65 (1): 24-30.

Olalde, V.; Escalante, J.; Sánchez, P.; Tijerina, L.; Engleman, M. y Mastache, A. 2000. Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra Latinoamérica. 18 (1): 51-59.

Olivares, M.A.; Hernández, A.; Vences, C.; Jáquez, J.L. y Ojeda, D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como

fertilizantes y mejoradores de suelo. Universidad y ciencia: Trópico húmedo. 28 (1): 27-37.

Oliveira, J.; Afif, E. y Mayor, M. 2006. Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abono. España: Ediciones de la Universidad de Oviedo.

Ortuzar, M. 2007. Desarrollo de un sistema de fertilización nitrogenada racional en trigo blando de invierno bajo condiciones de clima mediterráneo húmedo. Trabajo de grado Universidad del país Vasco, Leioa, España.

Oyarzun, M. 2010. Respuesta productiva de un cultivo de maíz ("*Zea mays*" L. var. dracma) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre la lixiviación de nitratos. Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos. Universidad pública de Navarra, Pamplona, España.

Perez, M. 2014. Evaluación de la zeolita natural utilizada como una tecnología productiva y limpia, aplicada al pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp*) como un complemento en el uso de los fertilizantes nitrogenados. Trabajo de grado. Instituro tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Pichardo, J.; Escalante, J.; Rodríguez, M. y Sánchez, P. 2007. Aplicación dividida y eficiencia agronómica de nitrógeno, uso de agua y radiación, y rendimiento de haba. Terra Latinoamericana, 25(2): 145-154

Ramirez, G. 2011. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur –sureste de México: Trópico húmedo 2011- Paquete Tecnológico Estevia (*Stevia rebaudiana*). Establecimiento y mantenimiento. Centro de Investigación regional sureste. Pp 6-10.

Red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano (AGRONET). 2017. Estadísticas agrícolas: área, producción y participación. http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx# . Consultado el 02 de Noviembre de 2017.

Reyes, A., U. Figueroa, E. Ochoa, J. Verastegui, J.I. Sánchez y G. Núñez. 2012. Lixiviación de nitratos provenientes de estiércol y fertilizante en forrajes cultivados en lisímetros de volumen. Explotación Racional y Monitoreo de Ecosistemas – Agrofaz 12 (4), 95-101

Rios, D. E. 2016. Estimación de la dosificación nitrogenada para Estevia (*Estevia rebaudiana* B.). Trabajo de grado. Facultad de ingeniería. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Secretaría de Agricultura y Pesca del Valle del Cauca. 2013. Evaluaciones agrícolas 2000-2013: Otros cultivos.

http://www.valledelcauca.gov.co/agricultura/publicaciones.php?id=1966. Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2016.

Sepaskhah, A. & Barzegar, M. 2010. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. Agricultural Water Management. 98 (2010) 38–44.

Stewart, M. 2008. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. XVII Congreso de la Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo: Simposio de Intensificación Ecológica de la Producción. https://ipni.net/ppiweb/pltamn.nsf/$webindex/article=A02C3298052573760074BFE5D1970BD2!opendocument. Fecha de consulta: 10 de Febrero de 2016.

Suganya, S. y Sivasamy, R. 2006. Moisture retention and cation exchange capacity of Sandy soil as influenced by soil additives. J, appl. Sci. Res. 2: 949-951.

Torres, C. 2006. Procedimiento para la prueba de percolación. Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas. http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-AH-105-2006.pdf Fecha de consulta: 11 de Enero de 2016.

Velázquez, D.; Rodríquez, H.; Ferreira, M.; Vega, G.; Lesmo, N. y Alvarenga, J. 2016. Efecto de diferentes dosis de estiércol bovino en el cultivo orgánico de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni bajo sistema de riego por goteo. Investigaciones Agrarias. 18(2):101-110.

Villafañe, G.; Basso, C. y Villafañe, R. 2016. Evapotranspiración y coeficientes del cultivo (*Kc*) de Estevia (*Stevia rebaudiana (Bertoni) Bertoni*) bajo condiciones parcialmente protegidas. Bioagro. 28(2): 131-136.

Yssad, H. y Belkhodja, M. 2007. The efect of bentonite on the physic chemical characteristics of Sandy soils in Algeria. J. Appl. Sci. 7: 2641- 2645.

Zaman, M., Chowdhury, M. y Chosdhury, T. 2015a. Growth parameters and leaf biomass yield of stevia (*Stevia rebaudiana*, Bertoni) as influenced by different soil types of Bangladesh. J. Bangladesh Agril. Univ. 13(1): 31–37

Zaman, M., Chowdhury, M. y Chosdhury, T. 2015b. Integrated effects of poultry manure and chemical fertilizer on the growth, leaf yield and stevioside content of stevia. J. Bangladesh Agril. Univ. 13(2): 175–182.

10. ANEXOS

Anexo 1. Datos calibración tanque evaporímetro.

Tabla 32. Datos calibración tanque evaporímetro tipo A.

Datos evaporación acumulada (mm/día)				
Fecha	**Tanque prototipo Univalle**	**Estación Melendez**	**Estación Jamundí**	**Estación PTAR Cali**
27/07/2016	3,06	6,40	5,40	7,00
28/07/2016	4,42	13,50	12,10	14,30
29/07/2016	8,16	19,50	17,60	19,60
30/07/2016	10,46	23,40	21,60	23,40
31/07/2016	13,42	28,00	26,20	28,10
01/08/2016	16,32	32,10	30,20	32,80
02/08/2016	19,14	37,70	36,40	39,10
03/08/2016	21,49	44,60	43,30	46,40
04/08/2016	23,81	49,20	48,00	51,40
05/08/2016	26,49	55,10	54,00	57,50
06/08/2016	29,27	60,60	58,90	63,10
07/08/2016	33,75	64,60	63,50	67,30
08/08/2016	37,15	71,30	69,80	73,60
09/08/2016	40,09	75,60	73,40	78,40
10/08/2016	41,83	80,10	77,80	83,20
11/08/2016	43,66	85,40	83,20	88,80
12/08/2016	48,70	91,00	87,30	94,20
13/08/2016	51,45	95,50	91,70	99,00
14/08/2016	55,52	99,60	96,00	104,10
15/08/2016	57,45	106,10	102,70	111,00
16/08/2016	60,98	112,50	108,90	118,40
17/08/2016	65,62	117,60	114,70	123,50
18/08/2016	69,44	122,50	119,90	129,20
19/08/2016	73,00	128,30	125,80	136,00
20/08/2016	77,42	133,00	130,60	141,40
21/08/2016	81,94	138,80	137,00	148,50
22/08/2016	86,28	145,00	142,80	155,80
23/08/2016	90,84	148,10	145,40	159,40
24/08/2016	93,02	152,70	149,80	164,00

Anexo 2. Necesidades hídricas y aplicación de lámina de agua por fases de crecimiento del cultivo

Tabla 33. Necesidades hídricas primera fase del cultivo después del trasplante.

NECESIDADES HÍDRICAS PRIMERA FASE DEL CULTIVO DESPUES DEL TRASPLANTE					
Fecha	**Día**	**Etp(cm)**	**Volumen de riego (ml)**	**Volumen de riego + 15.5%**	**Etc (cm)**
21/10/2016	0	0,568	165,738	191,427	0,488
22/10/2016	1	0,270	78,784	90,995	0,232
23/10/2016	2	0,576	168,072	194,123	0,495
24/10/2016	3	0,280	81,702	94,365	0,241
25/10/2016	4	0,384	112,048	129,415	0,330
26/10/2016	5	0,156	45,519	52,575	0,134
27/10/2016	6	0,288	84,036	97,062	0,248
28/10/2016	7	0,394	114,966	132,786	0,339
29/10/2016	8	0,000	0,000	0,000	0,000
30/10/2016	9	0,324	94,540	109,194	0,279
31/10/2016	10	0,252	73,531	84,929	0,217
01/11/2016	11	0,240	70,030	80,885	0,206
02/11/2016	12	0,000	0,000	0,000	0,000
03/11/2016	13	0,234	68,279	78,863	0,201
04/11/2016	14	0,000	0,000	0,000	0,000
05/11/2016	15	0,284	82,869	95,713	0,244
06/11/2016	16	0,344	100,376	115,935	0,296
07/11/2016	17	0,208	60,693	70,100	0,179
08/11/2016	18	0,272	79,367	91,669	0,234
09/11/2016	19	0,322	93,957	108,520	0,277
10/11/2016	20	0,186	54,273	62,686	0,160
11/11/2016	21	0,202	58,942	68,078	0,174
12/11/2016	22	0,074	21,593	24,939	0,064
13/11/2016	23	0,222	64,778	74,818	0,191
14/11/2016	24	0,336	98,042	113,238	0,289
15/11/2016	25	0,246	71,781	82,907	0,212
16/11/2016	26	0,180	52,522	60,663	0,155
17/11/2016	27	0,080	23,343	26,962	0,069
18/11/2016	28	0,322	93,957	108,520	0,277
19/11/2016	29	0,232	67,696	78,188	0,200
20/11/2016	30	0,000	0,000	0,000	0,000

21/11/2016	31	0,418	121,969	140,874	0,359
22/11/2016	32	0,674	196,668	227,151	0,580
23/11/2016	33	0,308	89,872	103,802	0,265
24/11/2016	34	0,418	121,969	140,874	0,359
25/11/2016	35	0,278	81,118	93,691	0,239
26/11/2016	36	0,212	61,860	71,448	0,182
27/11/2016	37	0,240	70,030	80,885	0,206
28/11/2016	38	0,150	43,769	50,553	0,129
29/11/2016	39	0,334	97,458	112,564	0,287
30/11/2016	40	0,086	25,094	28,984	0,074
01/12/2016	41	0,306	89,288	103,128	0,263
02/12/2016	42	0,132	38,516	44,487	0,114
03/12/2016	43	0,000	0,000	0,000	0,000
04/12/2016	44	0,000	0,000	0,000	0,000
05/12/2016	45	0,416	121,385	140,200	0,358
06/12/2016	46	0,174	50,772	58,641	0,150
TOTAL		11,622	3391,201	3916,838	9,995
Promedio		0,247	72,153	83,337	0,213

Tabla 34. Necesidades hídricas segunda fase del cultivo después del trasplante.

NECESIDADES HÍDRICAS SEGUNDA FASE DEL CULTIVO DESPUES DEL TRASPLANTE					
Fecha	**Día**	**Etp(cm)**	**Volumen de riego (ml)**	**Volumen de riego + 15.5%**	**Etc (cm)**
07/12/2016	47	0,256	107,705	124,399	0,317
08/12/2016	48	0,000	0,000	0,000	0,000
09/12/2016	49	0,472	198,581	229,361	0,585
10/12/2016	50	0,404	169,972	196,318	0,501
11/12/2016	51	0,226	95,083	109,821	0,280
12/12/2016	52	0,208	87,510	101,074	0,258
13/12/2016	53	0,162	68,157	78,721	0,201
14/12/2016	54	0,268	112,754	130,231	0,332
15/12/2016	55	0,340	143,046	165,218	0,422
16/12/2016	56	0,000	0,000	0,000	0,000
17/12/2016	57	0,390	164,082	189,515	0,484
18/12/2016	58	0,290	122,010	140,921	0,360
19/12/2016	59	0,388	163,240	188,543	0,481
20/12/2016	60	0,226	95,083	109,821	0,280
21/12/2016	61	0,006	2,524	2,916	0,007

22/12/2016	62	0,046	19,353	22,353	0,057
23/12/2016	63	0,160	67,316	77,750	0,198
24/12/2016	64	0,000	0,000	0,000	0,000
25/12/2016	65	0,482	202,788	234,221	0,598
26/12/2016	66	0,000	0,000	0,000	0,000
27/12/2016	67	0,484	203,630	235,192	0,600
28/12/2016	68	0,344	144,729	167,162	0,427
29/12/2016	69	0,218	91,718	105,934	0,270
30/12/2016	70	0,280	117,802	136,062	0,347
31/12/2016	71	0,310	130,424	150,640	0,384
01/01/2017	72	0,350	147,253	170,077	0,434
02/01/2017	73	0,350	147,253	170,077	0,434
03/01/2017	74	0,000	0,000	0,000	0,000
04/01/2017	75	0,340	143,046	165,218	0,422
05/01/2017	76	0,190	79,937	92,328	0,236
06/01/2017	77	0,270	113,595	131,202	0,335
07/01/2017	78	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL		7,460	3138,591	3625,073	9,250
Promedio		0,233	98,081	113,284	0,289

Tabla 35. Necesidades hídricas tercera fase del cultivo después del trasplante.

NECESIDADES HÍDRICAS TERCERA FASE DEL CULTIVO DESPUES DEL TRASPLANTE					
Fecha	**Día**	**Etp(cm)**	**Volumen de riego (ml)**	**Volumen de riego + 15.5%**	**Etc (cm)**
08/01/2017	79	0,000	0,000	0,000	0,000
09/01/2017	80	0,000	0,000	0,000	0,000
10/01/2017	81	0,000	0,000	0,000	0,000
11/01/2017	82	0,000	0,000	0,000	0,000
12/01/2017	83	0,218	62,871	72,616	0,185
13/01/2017	84	0,292	84,212	97,265	0,248
14/01/2017	85	0,000	0,000	0,000	0,000
15/01/2017	86	0,272	78,444	90,603	0,231
TOTAL		0,782	225,528	260,485	0,665
Promedio		0,098	28,191	32,561	0,083

Anexo 3. Datos prueba de retención de líquido Unidad experimental

Tabla 36. Valores prueba de retención de líquido Unidad experimental.

PRUEBA RETENCIÓN DE LÍQUIDO UNIDAD EXPERIMENTAL				
Número de ensayo	**Recipiente**	**Total aplicado (ml)**	**Total retenido (ml)**	**Promedio retenido (ml)**
1	1	400	200	206,75
	2		240	
	3		207	
	4		180	
2	1	400	50	52,5
	2		40	
	3		60	
	4		60	
3	1	400	50	45
	2		40	
	3		50	
	4		40	
4	1	400	50	40
	2		40	
	3		30	
	4		40	
5	1	400	50	40
	2		30	
	3		40	
	4		40	
6	1	400	50	40
	2		40	
	3		30	
	4		40	
7	1	400	40	35
	2		40	
	3		30	
	4		30	
8	1	400	40	37,5
	2		30	
	3		40	
	4		40	
		Promedio retenido (ml)		**496,75**
		Promedio retenido (%)		**15.52**

Anexo 4. Necesidades de fertilización

Tabla 37. Cantidad de fertilizante aplicada por cada tratamiento.

Tratamientos propuestos				Cantidad aplicada de cada fertilizante					
Tipo de suelo	Tratamiento	Proporción de fertilizante	Proporción de Enmienda OM	Fertilizante en g/UE	Enmienda OM g/UE		Fertilizante en g/tratamiento	Enmienda OM g/tratamiento	
					Lombricompost	Montmorillonita		L	M
Acido	AT1 (Testigo)	0%	0%	0	0	0	0	0	0
	AT2	Urea 100%	0%	1,47	0	0	4,41	0	0
	AT3	Urea 75%	25%	1,1	0,093	0,076	3,3	0,279	0,228
	AT4	Urea 50%	50%	0,737	0,186	0,153	2,211	0,558	0,459
	AT5	FLL* 100%	0%	1,695	0	0	5,085	0	0
	AT6	FLL 75%	25%	1,271	0,093	0,076	3,813	0,279	0,228
	AT7	FLL 50%	50%	0,848	0,186	0,153	2,544	0,558	0,459
Básico	BT1 (Testigo)	0%	0%	0	0	0	0	0	0
	BT2	Urea 100%	0%	1,47	0	0	4,41	0	0
	BT3	Urea 75%	25%	1,1	0,093	0,076	3,3	0,279	0,228
	BT4	Urea 50%	50%	0,737	0,186	0,153	2,211	0,558	0,459
	BT5	FLL100%	0%	1,695	0	0	5,085	0	0
	BT6	FLL 75%	25%	1,271	0,093	0,076	3,813	0,279	0,228
	BT7	FLL 50%	50%	0,848	0,186	0,153	2,544	0,558	0,459

Tabla 38. Cálculo proporción enmienda órgano mineral suelo ácido

CIC suelo (Cmol/kg)	CIC lombricompost (Cmol/kg)	CIC montmorillonita (Cmol/kg)	
8,9	24,6	30	
CIC suelo al 150 % (Cmol/kg)	24,6 cmol----1kg 6,675 Cmol-----x x=0,271kg lombricompost	30cmol----1kg 6,675 Cmol-----x x=0,222kg montmorillonita	
22,25			
CIC a aumentar (Cmol/kg)			
13,35			
En 1 kg	0,271	0,222	kg de fertilizante
	54,96957404	45,03042596	% de fertilizante
	PROPROCIÓN ENMIENDA		
	Manteniendo 150kg de N/Ha		
	Area Matera (cm2)	**N 100 % por UE (g)**	
	452,3893421	0,678	

Tabla 39. Cálculo proporción enmienda órgano mineral suelo básico.

CIC suelo (Cmol/kg)	CIC lombricompost	CIC montmorillonita	
11,8	24,6	30	
CIC suelo al 150 % (Cmol/kg)	24,6 cmol----1kg 8,85 Cmol-----x x=0,359kg lombricompost	30cmol----1kg 8,85 Cmol-----x x=0,295kg montmorillonita	
29,5			
CIC a aumentar (Cmol/kg)			
17,7			
En 1 kg	0,359	0,295	kg de fertilizante
	54,89296636	45,10703364	% de fertilizante
	PROPORCIÓN ENMIENDA		
	Manteniendo 150kg de N/Ha		
	Area Matera (cm2)	**N 100 % por UE (g)**	
	452,3893421	0,678	

Anexo 5. Valores variables de respuesta.

Tabla 40. Valores de altura de la planta para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO				SUELO BÁSICO			
VARIABLE:	ALTURA PLANTA (cm)			VARIABLE:	ALTURA PLANTA (cm)		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	59	75,5	46,5	BT1	56,8	61,2	75,5
AT2	64,1	43,4	63	BT2	69,5	64,5	61
AT3	62,5	49	58,2	BT3	63	67	61
AT4	33,8	78,4	44,5	BT4	49,5	57,8	73
AT5	50,8	48,8	51,3	BT5	65,8	67	63
AT6	63,1	65	35,5	BT6	52	60	70,1
AT7	68	53	21,3	BT7	71	71	26
Variable: ALTURA DE LA PLANTA							
Esta variable de respuesta se refiere a la altura total de la planta, tomada desde la superficie del suelo hasta finalizar su tallo; su medición se realizó al finalizar el experimento (86 días después del trasplante). Las unidades de medición para esta variable son los centímetros (cm).							

Tabla 41. Valores del número de hojas para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO				SUELO BÁSICO			
VARIABLE:	NÚMERO TOTAL DE HOJAS			VARIABLE:	NÚMERO TOTAL DE HOJAS		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	366	480	526	BT1	426	310	169
AT2	501	580	533	BT2	327	272	269
AT3	449	576	555	BT3	393	394	372
AT4	350	397	602	BT4	281	316	345
AT5	355	652	556	BT5	438	372	336
AT6	621	608	594	BT6	259	361	551
AT7	437	492	477	BT7	422	376	551
Variable: NÚMERO TOTAL DE HOJAS							
Esta variable de respuesta se refiere a la cantidad total de hojas de cada planta, su medición se realizó al finalizar el experimento (86 días después del trasplante).							

Tabla 42. Valores del peso seco aéreo para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO						SUELO BÁSICO					
VARIABLE:	PESO AEREO SECO (g)					VARIABLE:	PESO AEREO SECO (g)				
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio	kg/ha	TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio	Kg/ha
AT1	9,20	10,40	12,00	10,53	2328,37	BT1	7,20	6,70	3,80	5,90	1304,18
AT2	13,60	13,50	10,10	12,40	2741,00	BT2	8,30	7,70	6,60	7,53	1665,23
AT3	11,60	12,10	11,10	11,60	2564,16	BT3	7,40	8,30	9,10	8,27	1827,33
AT4	8,30	6,70	10,90	8,63	1908,38	BT4	6,90	7,90	7,20	7,33	1621,02
AT5	10,10	12,10	12,90	11,70	2586,26	BT5	10,50	8,40	7,60	8,83	1952,59
AT6	11,50	12,50	11,60	11,87	2623,11	BT6	6,70	7,70	7,70	7,37	1628,39
AT7	9,30	11,40	11,40	10,70	2365,22	BT7	7,80	8,20	8,30	8,10	1790,49
Variable: PESO AÉREO SECO											
Esta variable de respuesta se refiere al peso total seco de la parte aérea de cada planta (hojas, flores y tallos, secos a 60°C durante 24 horas) su medición se realizó al finalizar el experimento (95 días después del trasplante). Las unidades de medición para esta variable son gramos (g)											

Tabla 43. Valores del porcentaje de materia seca aérea y radicular para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO				SUELO ÁCIDO			
VARIABLE:	% MATERIA SECA AEREA			VARIABLE:	% MATERIA SECA RAÍZ		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	45,10	48,37	47,81	AT1	19,30	22,39	29,27
AT2	48,40	48,91	47,87	AT2	26,32	29,85	21,43
AT3	43,77	47,64	45,87	AT3	22,22	37,21	16,67
AT4	43,01	37,22	43,25	AT4	20,00	16,67	25,58
AT5	44,89	46,36	45,58	AT5	24,39	20,22	28,26
AT6	44,06	44,17	47,15	AT6	22,22	20,31	27,03
AT7	40,79	46,72	49,78	AT7	18,00	20,93	29,69
SUELO BÁSICO				SUELO BÁSICO			
VARIABLE:	% MATERIA SECA AEREA			VARIABLE:	% MATERIA SECA RAÍZ		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
BT1	40,68	46,53	34,86	BT1	31,82	29,03	17,86
BT2	41,50	39,69	40,74	BT2	23,26	26,09	26,92
BT3	41,34	44,62	44,83	BT3	22,58	25,81	34,78
BT4	47,92	38,73	44,44	BT4	33,33	31,82	27,78
BT5	47,09	32,31	47,50	BT5	37,50	30,43	25,00
BT6	46,53	46,95	48,13	BT6	30,00	25,00	30,00
BT7	45,88	41,84	41,29	BT7	28,00	29,63	28,57

Variable: PORCENTAJE DE MATERIA SECA

Esta variable de respuesta se refiere al % de materia seca de cada planta y se divide en % materia seca aérea (peso seco (hojas, tallos y flores)/ peso fresco (hojas tallos y flores)*100) y % de materia seca radicular o de raíz (peso seco de la raíz/ peso fresco de la raíz *100); su medición se realizó al finalizar el experimento (95 días después del trasplante). Las unidades de medición para esta variable es el %.

Tabla 44. Valores del porcentaje de nitrógeno foliar y el nitrógeno absorbido por hectárea para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO						
VARIABLE:	Nitrógeno foliar (%)				PSA	N abs (kg/ha)
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio	kg/ha	
AT1	0,0561	0,0821	0,0325	0,0569	2328,3745	1,3253
AT2	0,6001	0,3304	0,5562	0,4955	2740,9978	13,5830
AT3	0,2506	0,2541	0,2613	0,2553	2564,1592	6,5471

AT4	0,2841	0,1343	0,0983	0,1722	1908,3829	3,2872
AT5	0,3069	0,3099	0,2188	0,2785	2586,2641	7,2035
AT6	0,2895	0,2261	0,3122	0,2759	2623,1054	7,2383
AT7	0,1557	0,1135	0,2317	0,1669	2365,2159	3,9483
SUELO BÁSICO						
VARIABLE:	**Nitrógeno foliar (%)**				**PSA**	**N abs (kg/ha)**
TRATAMIENTO	**R1**	**R2**	**R3**	**Promedio**	**Kg/ha**	
BT1	0,4818	0,2093	0,4974	0,3962	1304,1844	5,1670
BT2	0,4725	0,3816	0,2897	0,3813	1665,2299	6,3492
BT3	0,4060	0,0682	0,2552	0,2431	1827,3319	4,4427
BT4	0,1970	0,4507	0,3257	0,3244	1621,0202	5,2593
BT5	0,2283	0,3643	0,4064	0,3330	1952,5925	6,5024
BT6	0,4024	0,4259	0,5562	0,4615	1628,3885	7,5148
BT7	0,4879	0,3889	0,2370	0,3713	1790,4905	6,6474
Variable: NITRÓGENO FOLIAR						
Esta variable de respuesta se refiere al porcentaje de nitrógeno total, presente en una muestra de material vegetal (hojas secas tamizadas). Esta variable se mide en porcentaje (%)						

Tabla 45. Valores de pH para ambos tipos de suelo.

SUELO ÁCIDO				**SUELO BÁSICO**			
VARIABLE:	**pH**			**VARIABLE:**	**pH**		
TRATAMIENTO	**R1**	**R2**	**R3**	**TRATAMIENTO**	**R1**	**R2**	**R3**
AT1	4,90	4,92	4,65	BT1	5,94	5,69	5,89
AT2	4,81	4,71	4,83	BT2	5,81	5,77	5,85
AT3	4,70	4,58	4,81	BT3	5,86	5,76	5,57
AT4	4,66	4,89	4,72	BT4	5,91	5,67	6,03
AT5	4,70	5,03	4,59	BT5	5,75	5,88	5,51
AT6	4,73	4,72	4,63	BT6	5,80	5,60	5,56
AT7	4,71	4,62	4,79	BT7	5,66	5,71	5,93
Variable: PH (potencial de hidrógeno)							
La concentración de iones hidrógeno es una propiedad importante cuando se estudia un suelo. La escala de pH se utiliza como un indicador de la concentración de los iones hidrógeno en el suelo. El pH se mide en una escala logarítmica y representa el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en la solución suelo, expresado en moles/L (pH = - log [H+]). Por ejemplo, un pH de 2 representa una concentración de 1 x 10-2 moles/L de iones H+,							

Tabla 46. Valores de la conductividad eléctrica para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO				SUELO BÁSICO			
VARIABLE:	Conductividad (dS/m)			VARIABLE:	Conductividad (dS/m)		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	0,682	0,840	0,454	BT1	0,511	0,531	0,577
AT2	0,861	0,707	0,753	BT2	0,607	0,791	0,717
AT3	0,677	0,770	0,704	BT3	0,608	0,640	0,675
AT4	0,610	0,932	0,425	BT4	0,513	0,773	0,547
AT5	0,669	0,637	0,547	BT5	0,768	0,699	0,663
AT6	0,644	0,636	0,692	BT6	0,492	0,692	0,934
AT7	0,437	0,462	0,618	BT7	0,690	0,644	0,535
Variable: CONDUCTIVIDAD ELECTRICA							
La medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene, las unidades en las que se representa generalmente son decisiemens/metro (dS/m).							

Tabla 47. Valores de la capacidad de intercambio catiónico para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO					SUELO BÁSICO				
VARIABLE:	CIC (Cmol/kg)				VARIABLE:	CIC (Cmol/kg)			
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio	TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio
AT1	9,58	13,00	11,70	11,43	BT1	21,40	23,40	19,30	21,37
AT2	16,60	18,00	19,10	17,90	BT2	23,90	22,70	21,00	22,53
AT3	27,40	21,80	24,00	24,40	BT3	23,60	16,10	26,30	22,00
AT4	20,20	24,30	25,10	23,20	BT4	23,70	24,00	24,90	24,20
AT5	22,50	31,50	26,50	26,83	BT5	28,10	26,40	28,10	27,53
AT6	37,60	31,60	30,20	33,13	BT6	28,20	24,90	26,90	26,67
AT7	29,70	31,00	34,60	31,77	BT7	27,80	26,40	27,60	27,27
Variable: CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO									
Esta variable química de respuesta del suelo, se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles en el suelo; básicamente se refiere al número de cationes intercambiables que un suelo puede o es capaz de retener (es fundamental para conocer si un suelo puede o es capaz de retener nutrientes). Se mide en miliequivalentes/100gramos de suelo ó en cmol/kg.									

Tabla 48. Valores del porcentaje de materia orgánica para ambos suelos.

SUELO ÁCIDO		SUELO BÁSICO	
VARIABLE:	% Materia Orgánica	VARIABLE:	% Materia Orgánica

TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	6,83	6,98	6,08	BT1	2,20	1,63	2,62
AT2	10,52	10,24	7,35	BT2	2,76	2,81	2,01
AT3	8,44	6,27	9,91	BT3	2,20	2,86	2,86
AT4	6,60	9,72	8,49	BT4	2,15	1,86	2,24
AT5	6,64	9,53	5,18	BT5	1,72	2,91	1,30
AT6	9,15	7,40	7,26	BT6	1,91	2,05	2,10
AT7	7,07	6,74	8,96	BT7	2,91	2,53	2,67
Variable: PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA							
Esta variable de respuesta se refiere al porcentaje de materia orgánica que tiene una muestra de suelo. Esta variable se mide de manera %.							

Tabla 49. Valores de la cantidad de amonio en el suelo, para cada tipo de suelo estudiado.

SUELO ÁCIDO				SUELO BÁSICO			
VARIABLE:	Amonio (ppm)			VARIABLE:	Amonio (ppm)		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	32,72	32,46	65,94	BT1	N.D	N.D	16,49
AT2	49,08	63,91	N.D	BT2	16,49	32,97	N.D
AT3	N.D	49,46	31,45	BT3	N.D	N.D	N.D
AT4	N.D	N.D	N.D	BT4	15,60	14,84	15,60
AT5	31,45	32,97	46,41	BT5	31,70	28,91	31,45
AT6	47,93	47,55	16,49	BT6	15,60	44,89	N.D
AT7	28,91	16,23	49,08	BT7	37,03	15,47	15,98
Variable: AMONIO EN SUELO							
Esta variable de respuesta se refiere a la cantidad de amonio (NH4) que tiene un suelo, es una de las formas representativas de nitrógeno en el suelo. En algunas unidades experimentales esta forma de nitrógeno en el suelo no fue detectada, por lo que corresponde a ND.							

Tabla 50. Valores de la cantidad de nitrato en el suelo, para cada suelo evaluado.

SUELO ÁCIDO				SUELO BÁSICO			
VARIABLE:	Nitrato (ppm)			VARIABLE:	Nitrato (ppm)		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	N.D	N.D	N.D	BT1	N.D	N.D	N.D
AT2	N.D	61,38	N.D	BT2	N.D	N.D	N.D
AT3	14,58	N.D	N.D	BT3	44,51	48,19	15,72
AT4	N.D	N.D	N.D	BT4	14,58	29,67	14,96
AT5	N.D	N.D	N.D	BT5	28,66	14,96	44,13

AT6	N.D	29,42	N.D	BT6	15,09	15,60	15,60
AT7	N.D	N.D	30,69	BT7	27,77	30,18	28,91

Variable: DIÁMETRO DEL TALLO
Esta variable de respuesta se refiere a la cantidad de nitrato (NO3) que tiene un suelo, es una de las formas representativas de nitrógeno en el suelo. Las unidades de medición para esta variable son partes por millón (ppm). En algunas unidades experimentales esta forma de nitrógeno en el suelo no fue detectada, por lo que corresponde a ND.

Tabla 51. Valores del porcentaje de nitrógeno total en suelo, para ambos suelos estudiados.

SUELO ÁCIDO				
VARIABLE:	**Nitrógeno Total en suelo (%)**			
TRATAMIENTO	**R1**	**R2**	**R3**	**Promedio**
AT1	0,0162	0,0218	0,0318	0,0233
AT2	0,1185	0,0810	0,2510	0,1502
AT3	0,0788	0,0952	0,1439	0,1059
AT4	0,1455	0,0905	0,0684	0,1015
AT5	0,0579	0,0498	0,0338	0,0472
AT6	0,1133	0,2333	0,2992	0,2153
AT7	0,0578	0,0329	0,0496	0,0468
SUELO BÁSICO				
VARIABLE:	**Nitrógeno Total en suelo (%)**			
TRATAMIENTO	**R1**	**R2**	**R3**	**Promedio**
BT1	0,0813	0,0874	0,1095	0,0927
BT2	0,1071	0,1319	0,1686	0,1358
BT3	0,0093	0,0191	0,0193	0,0159
BT4	0,0362	0,0470	0,0092	0,0308
BT5	0,0735	0,0247	0,0177	0,0386
BT6	0,0175	0,0370	0,0174	0,0239
BT7	0,0393	0,2663	0,2029	0,1695

Variable: NITRÓGENO TOTAL EN SUELO
Esta variable de respuesta se refiere al % de nitrógeno total presente en una muestra de suelo. Esta variable se mide en %

Tabla 52. Valores de la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable del suelo ácido.

SUELO ÁCIDO					SUELO ÁCIDO			
VARIABLE:	Ácidez intercambiable Ai (meq/100g)				VARIABLE:	Aluminio intercambiable Al+3 (meq/100g)		
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio	TRATAMIENTO	R1	R2	R3
AT1	0,65	0,55	0,50	0,57	AT1	0,15	0,15	0,10
AT2	2,20	1,80	0,50	1,50	AT2	0,20	0,25	0,15
AT3	0,70	0,60	0,45	0,58	AT3	0,25	0,10	0,15
AT4	0,60	0,45	0,50	0,52	AT4	0,15	0,05	0,05
AT5	0,50	0,35	0,35	0,40	AT5	0,20	0,10	0,10
AT6	0,45	0,35	0,45	0,42	AT6	0,15	0,10	0,20
AT7	0,45	0,40	0,35	0,40	AT7	0,15	0,15	0,10
Variable: ÁCIDEZ INTERCAMBIABLE					**Variable: ALUMINIO INTERCAMBIABLE**			
Esta variable de respuesta se refiere a la presencia de Al+3 (aluminio) intercambiable y H+ (Hidrógeno) intercambiable en el suelo, que causan una disminución en el pH, por lo que solo se determinó en los tratamientos de suelos ácidos. Las unidades de esta variable son miliequivalentes/100gramos de suelo.					Esta variable de respuesta se refiere a la presencia de Al+3 (aluminio) intercambiable en el suelo. Las unidades de esta variable son miliequivalentes/100gramos de suelo.			

Tabla 53. Valores de la eficiencia agronómica de recuperación para ambos suelos estudiados.

SUELO ÁCIDO				
VARIABLE:	Eficiencia agronómica (g MSA/g N aplicado)			
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio
AT2	4,523	4,376	-0,639	2,753
AT3	1,573	2,311	0,836	1,573
AT4	-3,294	-5,654	0,541	-2,802
AT5	-0,639	2,311	3,491	1,721
AT6	1,426	2,901	1,573	1,967
AT7	-1,819	1,278	1,278	0,246
SUELO BÁSICO				
VARIABLE:	Eficiencia agronómica (g MSA/g N aplicado)			
TRATAMIENTO	R1	R2	R3	Promedio
BT2	3,540	2,655	1,032	2,409
BT3	2,212	3,540	4,720	3,491

BT4	1,475	2,950	1,917	2,114
BT5	6,785	3,687	2,507	4,326
BT6	1,180	2,655	2,655	2,163
BT7	2,802	3,392	3,540	3,245

Variable: Eficiencia agronómica del nitrógeno (EA)

Esta variable de respuesta se refiere a la cantidad de masa seca aérea (g) con respecto a la cantidad de nitrógeno aplicado (g), es una eficiencia que compara el rendimiento del cultivo con respecto a la cantidad de N aplicado a cada planta. Por lo que esta variable no se calcula para el tratamiento 1 o el testigo, puesto que a este no se le aplica N y se utiliza para el cálculo de los otros tratamientos así: EA= (R-R0)/ F donde R: Rendimiento del cultivo de x tratamiento, R0: rendimiento del cultivo testigo y F: cantidad de N aplicado.

Tabla 54. Valores de la eficiencia aparente de recuperación para ambos suelos estudiados.

SUELO ÁCIDO				
VARIABLE:	**ER (g N abs/g N apli.)**			
TRATAMIENTO	**R1**	**R2**	**R3**	**promedio**
AT2	0,1115	0,0569	0,0740	0,0808
AT3	0,0340	0,0365	0,0339	0,0348
AT4	0,0259	0,0044	0,0070	0,0124
AT5	0,0369	0,0465	0,0328	0,0387
AT6	0,0403	0,0328	0,0446	0,0392
AT7	0,0125	0,0102	0,0301	0,0176
SUELO BÁSICO				
VARIABLE:	**ER (g N abs/g N apli.)**			
TRATAMIENTO	**R1**	**R2**	**R3**	**promedio**
BT2	0,0234	0,0089	-0,0063	0,0087
BT3	0,0098	-0,0261	-0,0002	-0,0055
BT4	-0,0144	0,0180	0,0001	0,0012
BT5	0,0009	0,0107	-0,0101	0,0005
BT6	0,0053	0,0117	0,0264	0,0145
BT7	0,0195	0,0103	-0,0077	0,0074

Eficiencia aparente de recuperación ER (g N abs/ g N apli.)

Esta variable se refiere a la cantidad de N absorbido por la planta con respecto a la cantidad de N aplicado en la fertilización. Por lo que esta variable no se calcula para el tratamiento 1 o el testigo, puesto que a este no se le aplica N y se utiliza para el cálculo de los otros tratamientos así: ER= (U-U0)/F, donde U: Absorción del nutriente

sobre la biomasa de x tratamiento, U0: la absorción del nutriente en el testigo y F: la cantidad de aplicación del nutriente.

Anexo 6. Promedio y erros estándar de las variables de respuesta del experimento.

Tabla 55. Promedio y error estándar de las variables del cultivo, para ambos tipos de suelo.

Tratamientos	Altura Planta		Numero de hojas		Peso seco aereo		Materia seca aerea		Materia seca raiz		Nitrogeno foliar	
	prom	err est	prom	err est	prom	err est	prom	err est	prom	err est	prom	err est
AT1	60,333	8,398	457,333	47,558	10,533	0,811	47,093	1,011	23,652	2,947	0,057	0,014
AT2	56,833	6,724	538,000	22,942	12,400	1,150	48,393	0,302	25,865	2,442	0,496	0,084
AT3	56,567	3,982	526,667	39,304	11,600	0,289	45,760	1,117	25,366	6,135	0,255	0,003
AT4	52,233	13,443	449,667	77,366	8,633	1,224	41,160	1,970	20,749	2,601	0,172	0,057
AT5	50,300	0,764	521,000	87,504	11,700	0,833	45,611	0,425	24,292	2,320	0,279	0,030
AT5	54,533	9,532	607,667	7,796	11,867	0,318	45,128	1,013	23,187	1,997	0,276	0,026
AT7	47,433	13,765	468,667	16,415	10,700	0,700	45,764	2,640	22,873	3,511	0,167	0,035
BT1	64,500	5,645	301,667	74,306	5,900	1,060	40,689	3,368	26,236	4,266	0,396	0,094
BT2	65,000	2,466	289,333	18,853	7,533	0,498	40,644	0,525	25,422	1,110	0,381	0,053
BT3	63,667	1,764	386,333	7,172	8,267	0,491	43,597	1,130	27,723	3,650	0,243	0,098
BT4	60,100	6,881	314,000	18,502	7,333	0,296	43,696	2,680	30,976	1,658	0,324	0,073
BT5	65,267	1,185	382,000	29,866	8,833	0,865	42,298	4,996	30,978	3,619	0,333	0,054
BT6	60,700	5,237	390,333	85,560	7,367	0,333	47,201	0,478	28,333	1,667	0,462	0,048
BT7	56,000	15,000	449,667	52,378	8,100	0,153	43,004	1,448	28,734	0,477	0,371	0,073

Tabla 56. Promedio y error estándar de las variables del suelo de ambos suelos usados en la investigación.

Tratamientos	pH		Conductividad eléctrica		CIC		Materia orgánica		Nitrógeno total suelo	
	prom	err est	prom	err est	prom	err est	prom	err est	prom	err est
AT1	4,823	0,087	0,659	0,112	11,427	0,997	6,628	0,279	0,023	0,005
AT2	4,783	0,037	0,774	0,046	17,900	0,723	9,373	1,013	0,150	0,052
AT3	4,697	0,066	0,717	0,028	24,400	1,629	8,206	1,059	0,106	0,020
AT4	4,757	0,069	0,656	0,148	23,200	1,518	8,269	0,908	0,101	0,023

AT5	4,773	0,132	0,618	0,037	26,833	2,603	7,117	1,279	0,047	0,007
AT5	4,693	0,032	0,657	0,017	33,133	2,270	7,938	0,609	0,215	0,054
AT7	4,707	0,049	0,506	0,057	31,767	1,466	7,591	0,693	0,047	0,007
BT1	5,840	0,076	0,540	0,020	21,367	1,184	2,148	0,288	0,093	0,009
BT2	5,810	0,023	0,705	0,053	22,533	0,841	2,527	0,261	0,136	0,018
BT3	5,730	0,085	0,641	0,019	22,000	3,051	2,637	0,221	0,016	0,003
BT4	5,870	0,106	0,611	0,082	24,200	0,361	2,085	0,114	0,031	0,011
BT5	5,713	0,108	0,710	0,031	27,533	0,567	1,975	0,481	0,039	0,018
BT6	5,653	0,074	0,706	0,128	26,667	0,960	2,022	0,057	0,024	0,007
BT7	5,767	0,083	0,623	0,046	27,267	0,437	2,701	0,110	0,170	0,068

Tabla 57. Promedio y error estándar de la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable para el suelo ácido.

Tratamientos	Acidez intercambiable		Aluminio intercambiable	
	prom	err est	prom	err est
AT1	0,567	0,044	0,133	0,017
AT2	1,500	0,513	0,200	0,029
AT3	0,583	0,073	0,167	0,044
AT4	0,517	0,044	0,083	0,033
AT5	0,400	0,050	0,133	0,033
AT5	0,417	0,033	0,150	0,029
AT7	0,400	0,029	0,133	0,017

Anexo 7. Resumen anova.

Tabla 58. Resumen anova variables del cultivo en el suelo ácido.

Response:	Altura	planta			
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	344.8	57.468	0.226	0.9614
Residuals	14	3559.5	254.25		
Response:	número	de	hojas		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	56531	9421.9	1.201	0.3614
Residuals	14	109833	7845.2		
Response:	Peso	seco	aereo		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	28.329	47.216	22.731	0.09645 .
Residuals	14	29.08	20.771		
Response:	materia	seca	aerea		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)

tratamientos	6	0.00916	0.001527	24.253	0.0807	
Residuals	14	0.00881	0.0006296			
Response:	materia	seca	raiz			
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.00706	0.0011759	0.2527	0.95	
Residuals	14	0.06513	0.0046524			
Response:	Nitrogeno	foliar				
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.00372	0.0006193	11.57	9.83E-05	***
Residuals	14	0.00075	5,35E-02			

Tabla 59. Resumen anova variables del suelo, medidas en el suelo ácido.

Response:	pH					
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.04491	0.0074857	0.4481	0.8346	
Residuals	14	0.23387	0.0167048			
Response:	Conductivid	electrica				
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.12492	0.02082	11.515	0.3843	
Residuals	14	0.25312	0.01808			
Response:	Capacidad	de	intercambio	cationico		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	1043.4	173.902	19.745	4.37E-06	***
Residuals	14	123.3	8.807			
Response:	Materia	orgánica	en	suelo		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.00483	0.0008043	0.9831	0.4724	
Residuals	14	0.01146	0.0008182			
Response:	Nitrógeno	total	en	suelo		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.00201	0.0003352	71.269	0.001231	**
Residuals	14	0.00066	4,70E-02			
Response:	Acidez	intercambiable				
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	27.814	0.46357	39.057	0.01674	*
Residuals	14	16.617	0.11869			
Response:	Aluminio	intercambiable				
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.0231	0.0038492	14.058	0.2797	

Residuals	14	0.03833	0.0027381

Tabla 60. Resumen anova índices de fertilización nitrogenada en el suelo ácido.

Response:	Eficiencia	agronómica				
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	5	59.501	119.002	26.118	0.08033	
Residuals	12	54.675	45.563			
Response:	Eficiencia	aparente	de	recuperación		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	5	0.00873	0.0017469	93.332	0.0008046	***
Residuals	12	0.00225	0.0001872			

Tabla 61. Resumen anova de las variables del cultivo medidas en el suelo básico.

Response:	Altura	planta			
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	209.34	34.891	0.2379	0.9565
Residuals	14	2053.37	146.67		
Response:	Numero	de	hojas		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	61932	10321.9	13.981	0.2824
Residuals	14	103359	7382.8		
Response:	Peso	seco	aereo		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	15.699	26.165	23.643	0.08664
Residuals	14	15.493	11.067		
Response:	materia	seca	aerea		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	0.00922	0.001536	0.7259	0.6363
Residuals	14	0.02963	0.0021161		
Response:	Materia	seca	raiz		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	0.01038	0.0017304	0.6173	0.7136
Residuals	14	0.03924	0.002803		
Response:	Nitrogeno	foliar			
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	6	0.00076	0.0001266	0.9138	0.5132
Residuals	14	0.00194	0.0001386		

Tabla 62. Resumen anova variables del suelo, medidas en el suelo básico.

Response:	pH					
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.10478	0.017463	0.8327	0.5642	
Residuals	14	0.2936	0.020971			
Response:	Conductivid	electrica				
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.07271	0.012118	0.9533	0.4896	
Residuals	14	0.17797	0.012712			
Response:	Capacidad	de	intercambio	cationico		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	124.725	207.875	37.362	0.01975	*
Residuals	14	77.893	55.638			
Response:	Materia	organica	en	suelo		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.00202	0.0003374	14.518	0.264	
Residuals	14	0.00325	0.0002324			
Response:	Nitrógeno	total	en	suelo		
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)	
tratamientos	6	0.00214	0.0003566	59.723	0.002833	**
Residuals	14	0.00084	0.0000597			

Tabla 63. Resumen anova, índices de fertilización nitrogenada medidos en el suelo básico.

Response:	Eficiencia	agronomica			
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	5	11.652	23.304	14.685	0.2705
Residuals	12	19.042	15.868		
Response:	Eficiencia	aparente	de	recuperación	
	Df	sumSq	MeanSq	F	Pr(>F)
tratamientos	5	0.00076	0.0001511	0.728	0.6157
Residuals	12	0.00249	0.0002076		

Anexo 8. Mapas de calor de las correlaciones entre variables para ambos tipos de suelo.

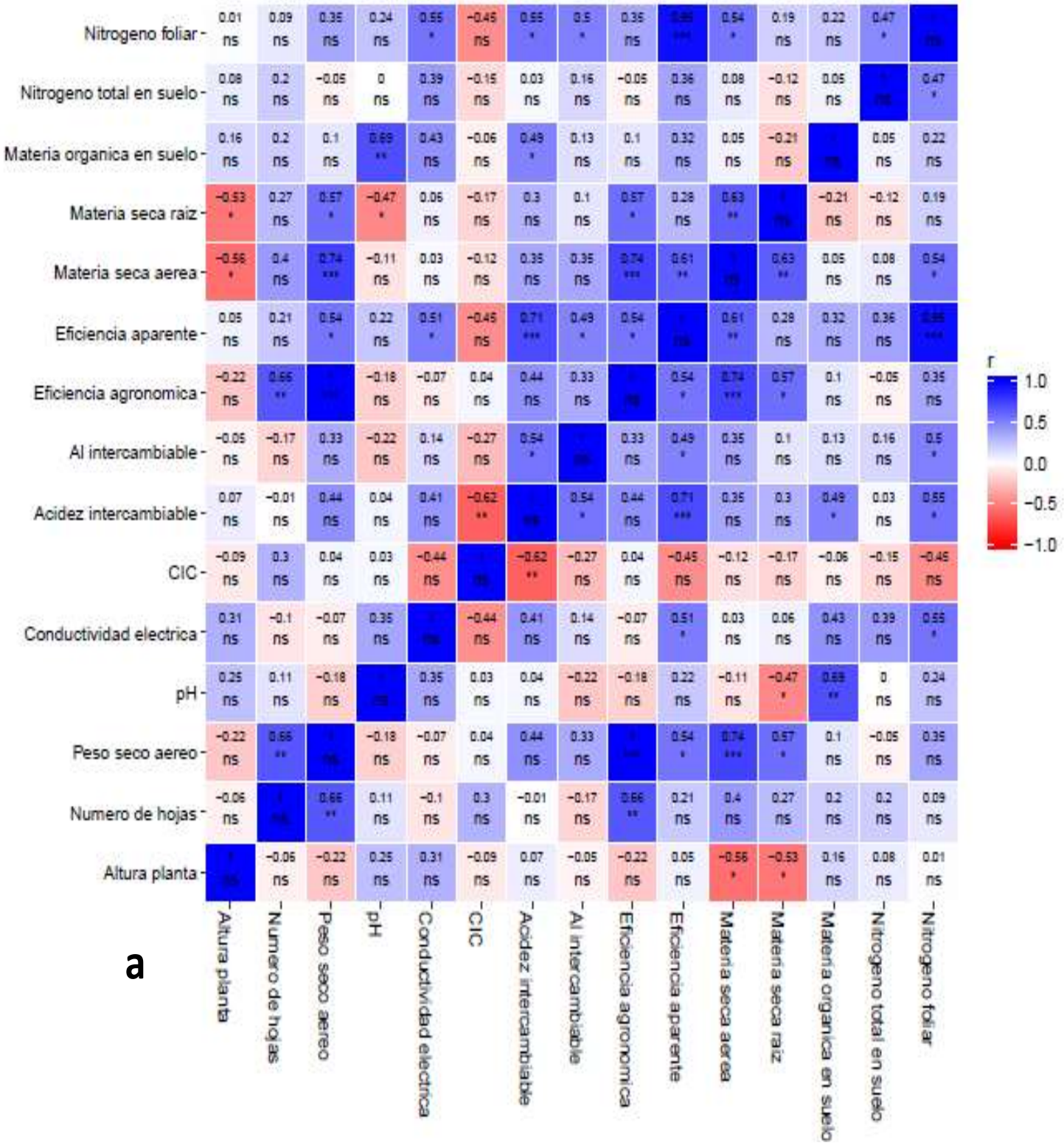

Figura 28. Correlaciones entre las variables medidas en el suelo ácido.

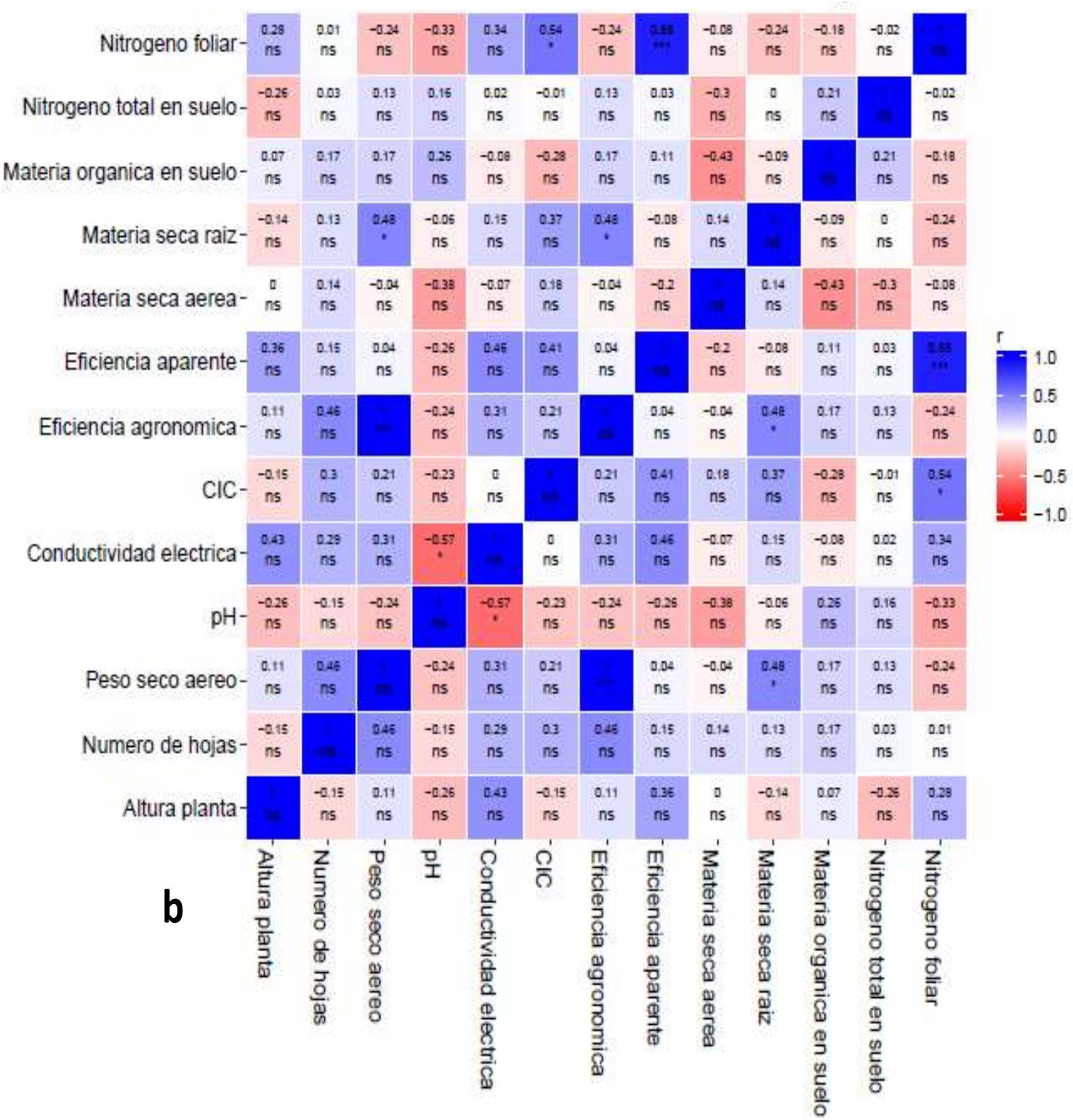

Figura 29. Correlaciones entre variables del suelo básico.