

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITROGENO LIXIVIADO EN EL CULTIVO DE ESTEVIA
(*Stevia Rebaudiana Bertoni*) POR MEDIO DE UN LISÍMETRO DE DRENAJE APLICANDO
FERTILIZANTES NITROGENADOS.



DETERMINACIÓN DE NITROGENO LIXIVIADO EN EL CULTIVO DE ESTEVIA
(*Stevia Rebaudiana Bertoni*) APLICANDO FERTILIZANTES NITROGENADOS DE
LENTA LIBERACIÓN POR MEDIO DE LISÍMETROS DE DRENAJE.

LUIS ESTEBAN AGUIRRE ARIAS
JEFERSON ANTONIO DIAZ GARCIA

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2015

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITROGENO LIXIVIADO EN EL CULTIVO DE ESTEVIA
(*Stevia Rebaudiana Bertoni*) POR MEDIO DE UN LISÍMETRO DE DRENAJE APLICANDO
FERTILIZANTES NITROGENADOS.



DETERMINACIÓN DE NITROGENO LIXIVIADO EN EL CULTIVO DE ESTEVIA
(*Stevia Rebaudiana Bertoni*) APLICANDO FERTILIZANTES NITROGENADOS DE
LENTA LIBERACIÓN POR MEDIO DE LISÍMETROS DE DRENAJE.

LUIS ESTEBAN AGUIRRE ARIAS
JEFERSON ANTONIO DIAZ GARCIA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL
TITULO DE INGENIEROS AGRÍCOLAS

DIRECTORA
ING. MARTHA CONSTANZA DAZA TORRES M Sc

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2015



NOTA DE APROBACIÓN

FIRMA DIRECTOR

FIRMA JURADO 1

FIRMA JURADO 2



DEDICATORIA

En Primer lugar queremos darle las gracias a Dios por darnos la vida y permitirnos alcanzar esta meta.

LUIS ESTEBAN AGUIRRE ARIAS

A Dios por permitirme estudiar esta carrera y por regalarme la bendición de la vida. A mi pareja Daniela Rosero por sus consejos y apoyo durante los últimos semestres de mi carrera. A mis padres Luis Nabor Aguirre y Martha Janeth Arias por brindarme su apoyo de forma incondicional y por ser mi motor en los momentos más difíciles, por su entrega y comprensión durante cada uno de los semestres cursados. A mis hermanas Angie y Helen Aguirre por estar siempre a mi lado y brindarme de igual forma su apoyo incondicional.

JEFERSON ANTONIO DIAZ GARCIA

A mis padres Marlene García Tamayo y Antonio Díaz Zambrano, por siempre estar en los momentos más difíciles de mi vida y carrera, enseñarme afrontar cada inconveniente y siempre brindarme ánimo.

A mis hermanos Olga, Claudia, Jonathan y Marilin. Por su apoyo incondicional y siempre estar conmigo apoyándome.

A mis amigos, y todos los compañeros que compartieron conmigo el paso por la Universidad.



AGRADECIMIENTOS

Primero expresar el agradecimiento a la Universidad del Valle, por permitirnos adquirir los conocimientos necesarios para desarrollar este trabajo, además del préstamo de las instalaciones para la realización del proyecto. También agradecemos a todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo de grado:

A la profesora MARTHA CONSTANZA DAZA, por recibarnos como sus tesisas, por su incondicional apoyo, perseverancia y enseñanzas con el desarrollo profesional y personal.

A GERARDO TORRES, CATHERINE GÓMEZ, HEBERT HERNÁNDEZ por su colaboración en el préstamo de los servicios del laboratorio LASA de la Universidad del Valle.

A el señor YIMMI ZAPE por la disposición que tuvo para ayudarnos y asesorarnos en el cultivo de estevia y facilitarnos las plántulas y suelo de su predio.

Y en general a todos los compañeros que de una u otra forma hicieron parte del proyecto y compartieron con nosotros el paso por la universidad, especialmente a: JORGE JURADO, RICARDO ORTIZ, GERARDO TORRES, JHON FERNANDO, JHON COVALEDA, JHON SANCHEZ, JENNY CARABALI, LADY VILLA, HUGO MENESES, GERALDINE, VICTOR, ANDRES, ANGELA, JORGE HUMBERTO, DIANA CUERO, DIANA CUBILLOS, DIANA VELASCO, JAVIER VARGAS.

Gracias por hacer parte de nuestro proceso académico.



TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	12
2. Objetivos.....	14
2.1 Objetivo General.....	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. Justificación	15
4. Revisión de literatura.....	17
4.1 El ciclo del nitrógeno.....	18
4.2 Contaminación de las fuentes hídricas con nitrógeno	19
4.3 Eutrofización	21
4.4Uso eficiente de los fertilizantes.....	21
4.5Lisímetro de drenaje	22
4.6 Cultivo de la estevia	24
4.6.1 Manejo del cultivo	25
5. Materiales y métodos.....	26
5.1 Localización	26
5.2 Construcción y calibración del tanque evaporímetro.....	27
5.3 Diseño y construcción del lisímetro de drenaje	29
5.4 Caracterización del suelo	31
5.5 Diseño experimental	32
5.6 Plan de fertilización	33
5.7 Variables de respuesta.....	34
5.8 Eficiencia de la fertilización Nitrogenada.....	35



5.9 Fertilización	35
5.10 Poda.....	36
5.11 Determinación de la lámina de riego	36
5.12 Control de plagas y enfermedades	37
5.13 Análisis estadístico.....	37
6. Resultados y discusión	38
6.1 Nitrógeno foliar 45 días después del trasplante	38
6.2 Nitrógeno foliar 90 días después del trasplante	39
6.3 Nitrógeno lixiviado 45 días después del trasplante.....	40
6.4 Nitrógeno lixiviado 90 días después del trasplante.....	41
6.4.1 Volumen total de lixiviados y la pérdida de Nitrógeno neta.....	42
6.5 Nitrógeno total en el suelo	44
6.6 Efecto de la fertilización nitrogenada en la conductividad eléctrica del suelo	46
6.7 Efecto de la fertilización nitrogenada en el pH del suelo	47
6.8 Efecto de la fertilización nitrogenada en el carbono orgánico del suelo	48
6.9 Variables agronómicas.....	49
7. Evaluación de la eficiencia de la fertilización nitrogenada por la relación entre Nfoliar/ Naplicado y Nlixiviado/Naplicado.....	50
8. Conclusiones.....	52
9. Recomendaciones	53
10. Bibliografía.....	54
11. Anexos.....	60



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterización del suelo.....	32
Tabla 2. Descripción y dosis de los tratamientos utilizados en el experimento	33
Tabla 3. Plan de fertilización implementado	33
Tabla 4. Caracterización de los abonos orgánicos empleados en el experimento.....	34
Tabla 5. Resultado de la medición de las variables agronómicas por planta.....	49
Tabla 6. Valores utilizados de evaporación acumulada para la correlación entre el tanque prototipo y el tanque clase A.	60
Tabla 7. Datos diarios de evaporación del tanque prototipo y lámina de agua aplicada.	61
Tabla 8. Resultado de la medición de las variables agronómicas por planta.	63
Tabla 9. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante.....	64
Tabla 10. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante.....	64
Tabla 11. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno lixiviado a los 45 días después del trasplante.....	65
Tabla 12. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno lixiviado a los 90 días después del trasplante.....	65
Tabla 13. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno total en suelo	65
Tabla 14. Anova para el nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante.....	66
Tabla 15. Anova para el nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante.....	66
Tabla 16. Anova para el nitrógeno lixiviado a los 45 días después del trasplante.	67
Tabla 17. Anova para el nitrógeno lixiviado a los 90 días después del trasplante.	67
Tabla 18. Anova para el nitrógeno total en suelo.	67



Tabla 19. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante.....	68
Tabla 20. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante.....	68
Tabla 21. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno lixiviado a los 45 días después del trasplante.....	68
Tabla 22. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno lixiviado a los 90 días después del trasplante.....	69
Tabla 23. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno total en suelo.	69
Tabla 24. Volumen lixiviado a los 45 días después de la siembra	69
Tabla 25. Volumen lixiviado a los 90 días después de la siembra	70



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo biogeoquímico del nitrógeno	17
Figura 2. Ciclo del nitrógeno edáfico	18
Figura 3. Diagrama de un lisímetro de drenaje.....	24
Figura 4. Localización del experimento	27
Figura 5. Tanque evaporímetro	27
Figura 6. Tanque evaporímetro de la estación meteorológica (izquierda) y tanque prototipo (derecha)	28
Figura 7. Regla milimetrada incorporada en el limnómetro de gancho	28
Figura 8. Calibración del tanque evaporímetro.....	29
Figura 9. Construcción del lisímetro de drenaje	30
Figura 10. Dimensiones del lisímetro.....	30
Figura 11. Ubicación geográfica Villa Rica	30
Figura 12. Distribución espacial de los tratamientos.....	33
Figura 13. Medición de las variables agronómicas	35
Figura 14. Sistema de riego localizado.....	37
Figura 15. Control manual de plagas.....	37
Figura 16. Comparación entre el porcentaje de nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante y los tratamientos	38
Figura 17. Comparación entre el porcentaje de nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante y los tratamientos	39
Figura 18. Comparación entre el contenido de nitratos a los 45 días después del trasplante y los tratamientos.....	40
Figura 19. Comparación entre el contenido de nitratos a los 90 días después del trasplante y los tratamientos.....	41
Figura 20. Volumen de solución de suelo lixiviado a los 45 y 90 días después del trasplante de estevia.....	43



Figura 21. Efecto de la aplicación de abonos de liberación lenta en la cantidad de nitratos lixiviados a los 45 y 90 días del trasplante de estevia.....	44
Figura 22. Comparación entre el porcentaje de nitrógeno total en el suelo y los tratamientos	45
Figura 23. Comparación entre los valores de conductividad eléctrica al final del experimento	46
Figura 24. Comparación entre los valores de pH al final del experimento	47
Figura 25. Comparación entre los valores de carbono orgánico al final del experimento ...	48
Figura 26. Relación entre el Nitrógeno foliar y el Nitrógeno aplicado en plantas de estevia.....	50
Figura 27. Relación entre el Nitrógeno lixiviado y el Nitrógeno aplicado en plantas de estevia.....	51



1. INTRODUCCIÓN

No todos los nutrientes incorporados al suelo son utilizados por la planta, solo un porcentaje es asimilado y consumido por ella. En el caso del nitrógeno puede haber pérdidas debido a fenómenos de volatilización, degradación y lixiviación. La fertilización nitrogenada se debe hacer garantizando que las plantas obtengan el producto en forma y cantidad que requiera cada fase del cultivo. El sistema de fertilización que se acerca a esta situación es el de aplicaciones parcializadas y secuenciales de diferentes tipos de fertilizantes, pero este procedimiento tiene un costo elevado, y resulta inviable para algunos cultivos (Pinilla, 2010).

Por lo tanto, hay un interés en buscar alternativas que mitiguen los impactos ambientales generados por la aplicación de fertilizantes, en especial los nitrogenados, ya que el desconocimiento de la dosis requerida por la planta puede producir, en ocasiones, una aplicación excesiva de estos, siendo lavados por efectos de la precipitación y el riego aquellos nutrientes que no alcanzaron a ser aprovechados por la planta y, que con el paso del tiempo impactarán las aguas subterráneas, deteriorando o alterando su calidad hasta el punto de producir posibles enfermedades como el síndrome del niño azul e incluso cáncer de estómago. (Sapiña, 2006).

Debido a su carga negativa, el nitrato (NO_3^-) no es retenido por la fracción coloidal del suelo. Por lo tanto, el agua que se mueve a través del mismo puede llevar consigo el nitrato hacia los horizontes inferiores, proceso que se conoce como lixiviación o lavado. El NO_3^- de por sí no es fuertemente tóxico para los humanos. Sin embargo, el efecto tóxico derivado de la ingesta de alimentos o de aguas ricas en esta forma de N lo produce el NO_2 ; el NO_3^- se reduce a NO_2^- en el estómago de algunos animales, especialmente en el de los rumiantes, y de los humanos durante los primeros meses de vida (Perdomo y Barbazán, 2006). Además de esto, la continua acumulación de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas es causante de efectos adversos sobre los ecosistemas, al provocar un excesivo desarrollo de algas y por consiguiente un empobrecimiento del oxígeno disuelto en el agua, lo cual con el tiempo acabará con la biodiversidad del ecosistema (Castells, 2012).

El presente trabajo de grado hace referencia al uso de fertilizantes nitrogenados de lenta liberación, los cuales buscan soluciones de conservación del medio ambiente y pretenden reducir los costos en la aplicación de los fertilizantes.

En Colombia, para el establecimiento de productos como la papa, del costo total de producción por hectárea, se encuentra destinado aproximadamente un 29.6% a la aplicación de fertilizantes, mientras que en cultivos como el cacao es el 8% (SAC, 2006). En el Valle del Cauca, se observan rangos que van desde el 11,5% para la arveja, hasta el 41,9% en el repollo (SEDAMA, 2010); por lo tanto, existen sectores en los cuales los efectos serán mucho más críticos, debido al gran consumo de fertilizantes nitrogenados que demanda el desarrollo



adecuado del cultivo. Gran parte de los productores agrícolas aplican los fertilizantes de forma empírica de acuerdo con la respuesta del cultivo, y en ocasiones se cae en el error de aplicar más cantidad de fertilizante que el necesario por el cultivo, lo cual se traduce en una posterior contaminación del medio ambiente y pérdidas económicas para el agricultor.

Además, este trabajo se desarrolló por un interés académico en evaluar la lámina de riego aplicada a partir de coeficientes de cultivo previamente investigados, y verificar como se pueden reducir el lavado de nutrientes obteniendo los requerimientos nutricionales, con el fin de aplicar a la planta la cantidad de fertilizante que requiere para su correcto desarrollo, sin verse afectados los rendimientos de producción.

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la aplicación de abonos de lenta liberación de nitrógeno junto a láminas de riego adecuadas en la lixiviación de nitratos en un cultivo de estevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*), usando lisímetros de drenaje. El experimento se realizó en el Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas LASA, de la Universidad del Valle, en donde se diseñó, construyó y calibró lisímetros de drenaje, y se establecieron diferentes tratamientos con abonos nitrogenados, tanto orgánicos como inorgánicos distribuidos en un diseño completamente al azar. Se utilizaron láminas de riego acordes con las condiciones ambientales y la constante de cultivo determinada en investigaciones anteriores. Según investigaciones realizadas por Jurado y Torres (2013), encontraron un coeficiente multiplicador de la evapotranspiración igual a 1.2, lo cual implica una aplicación de 4mm de agua. Con el desarrollo del presente proyecto se encontró la fertilización más eficiente para la absorción de nitrógeno por parte de la planta de estevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*) y disminución de las pérdidas por lixiviación de nitratos.

Los primeros capítulos del documento hacen referencia a los objetivos del presente trabajo de grado; una justificación en la cual se define la problemática y se explica la importancia de la investigación realizada y una revisión de literatura que expone los conceptos fundamentales relacionados con los lisímetros de drenaje, la fertilización nitrogenada de liberación lenta y las prácticas agronómicas en el cultivo de estevia. El capítulo 5 contiene los materiales y métodos empleados en el desarrollo de la investigación, la localización del experimento y el diseño experimental utilizado, los diseños del lisímetro de drenaje y del tanque evaporímetro, las variables de respuesta establecidas y las labores agronómicas realizadas durante el desarrollo del cultivo. En el capítulo 6 se muestran los resultados obtenidos con su respectiva discusión, expuestos en gráficas y explicados a partir de los análisis estadísticos de las respectivas variables. En los capítulos finales 7, 8, 9 y 10 se exponen las conclusiones producto de los objetivos propuestos; así como las recomendaciones, la bibliografía consultada y los anexos de la investigación realizada.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar el contenido de nitratos lixiviados por fertilización nitrogenada utilizando lisímetros de drenaje en un cultivo de estevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*).

2.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar y construir un lisímetro de drenaje para el cálculo de nitrógeno contenido en agua de lixiviación de un cultivo de estevia.
2. Evaluar la eficiencia de la fertilización nitrogenada en estevia en condiciones de invernadero usando lisímetro de drenaje.
3. Comparar el contenido de nitratos lixiviados, al aplicar fuentes de fertilización nitrogenada comerciales y láminas de riego acordes con las necesidades hídricas del cultivo.



3. JUSTIFICACIÓN

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, forma parte de sustancias tan importantes como los aminoácidos siendo estos los componentes de las proteínas. Las formas minerales de nitrógeno, nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) son tomadas del suelo por las plantas, pasando en formas orgánicas a los demás seres vivos. La nutrición del hombre y los animales depende de las proteínas sintetizadas por las plantas (Williams, 2002).

Se puede considerar al nitrógeno como el principal factor de producción de los cultivos después del agua. Sin embargo, es necesario conocer los requerimientos nutricionales e hídricos del cultivo para la aplicación de láminas de riego adecuadas y evitar pérdidas por lixiviación o escorrentía. Actualmente es preciso equilibrar las necesidades que conllevan a una agricultura productiva, competitiva y de calidad, con la creciente necesidad de mitigar los impactos que esta pueda generar sobre los recursos naturales, como lo son el suelo, el agua y la atmósfera.

La principal fuente de nitrógeno en el suelo es la materia orgánica, cuyos niveles se han visto reducidos debido a las intensas prácticas agrícolas (García, 2009). Además, el nitrógeno orgánico sufre el proceso de mineralización para transformarse en elementos inorgánicos asimilables por las plantas. En este sentido, la fertilización nitrogenada tiene como objetivo satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo, mediante aportes orgánicos o minerales necesarios para complementar lo que el suelo no puede suministrar con su fertilidad.

El nitrato (NO_3^-) es una forma de nitrógeno que se presenta habitualmente en la naturaleza y que no es tóxica como tal; es normal un cierto contenido en las aguas freáticas y más en las superficiales. La peligrosidad de los nitratos radica en su alta solubilidad y la facilidad con que puede reaccionar con otras sustancias. La presencia de nitratos en las aguas origina dos problemas importantes, uno de tipo sanitario que afecta a personas y animales, y otro de tipo ambiental que afecta a las aguas superficiales y freáticas (Williams, 2002).

La contaminación por nitrógeno cada vez toma más protagonismo en el mundo por la degradación del recurso hídrico generando problemas sanitarios. La presencia de nitratos en el agua de consumo conlleva a la aparición de enfermedades como “el síndrome del niño azul”, ocasionando graves problemas y altos costos a la salud pública. El exceso de nitratos en el agua de consumo (mayor a 50 mg/l de N-NO_3), puede producir intoxicaciones severas e incluso la muerte, debido a que los nitratos en el organismo humano se reducen a nitritos, los cuales reaccionan con la hemoglobina para formar metahemoglobina inhibiendo el transporte de oxígeno en la sangre. Además se conocen compuestos derivados del nitrato como nitrosamidas y nitrosaminas que son cancerígenas (Fushiwaki y Magara, 2005).

Con respecto al problema ambiental, la pérdida de nitratos de la zona radicular del cultivo significa que, en un plazo indeterminado, esas cantidades de nitrógeno mineral aparecerán



primero en las aguas freáticas, y más tarde en las aguas superficiales. En estas últimas, con disponibilidad de otros nutrientes y de luz, la población de algas se multiplica (además del resto de seres vivos que se alimentan de ellas) lo que conlleva a consumir gran parte del oxígeno disponible en el agua. A esto se le denomina “eutrofización”, y deriva finalmente en la muerte de toda esa materia viva y putrefacción de las aguas (Williams, 2002).

En Colombia, la producción de plantas aromáticas para fines de exportación se concentra en los departamentos de Cundinamarca (80%), Tolima (10%), Antioquia (9%) y Valle del Cauca (1%) (Bareño, 2006). Según los censos nacionales agrícolas reportados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (López, 2002) el área cosechada en Colombia en plantas aromáticas en el año 2000 fue de 358 hectáreas y para el 2008 de 1.246 hectáreas; de la producción resultante en esta área, aproximadamente 1.763 toneladas son exportadas a diferentes países del mundo, el principal representante de Latinoamérica es México con 40.402 toneladas, seguido de Chile y Perú con 11.238 y 3.249 toneladas respectivamente.

A nivel regional, el Valle del Cauca cuenta con 271 productores primarios y un área sembrada de 170 hectáreas de las cuales 60 están cultivadas en Te, 10 hectáreas en Sábila y el resto de hectáreas cultivadas en otras especies como Tomillo, Orégano, Romero, Caléndula, Toronjil, Hierbabuena, Albahaca, Estevia, Cimarrón, Ruda, entre otras; producción que se comercializa mayoritariamente en verde (fresco) y deshidratado y un pequeño porcentaje para la industria farmacéutica (Posso, 2009).

El problema fundamental de la agricultura y en particular de especies promisorias como las aromáticas, es que se desconocen los requerimientos hídricos y nutricionales de las plantas, generando pérdidas en la aplicación del agua y fertilizantes, aumentando los costos de producción y contaminando el medio ambiente.

Debido a esto, se han implementado diferentes técnicas para el manejo de la fertilización nitrogenada, a partir de la aplicación controlada de abonos nitrogenados de lenta liberación; con ello se consigue aumentar la eficiencia del material activo prolongando su acción en el tiempo, reducir su impacto sobre aquellos otros medios a los que no va especialmente dirigido y simplificar su dosificación, evitando pérdidas por degradación, volatilización y lixiviación (Vargas, 2013).



4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 El ciclo del nitrógeno

De todos los minerales presentes en el suelo, el nitrógeno es el que contribuye, en mayor medida, al correcto desarrollo y crecimiento de las plantas. Pero los aportes naturales por parte del suelo hacia la planta son muy escasos como para suplir las necesidades nutricionales que esta requiere. Aunque en la atmósfera represente casi un 80% del aire atmosférico, este se encuentra en forma de N_2 , el cual no puede ser aprovechado por la planta sin antes pasar por un proceso de fijación y transformación en amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) (figura 1) (Campbell y Reece, 2007).

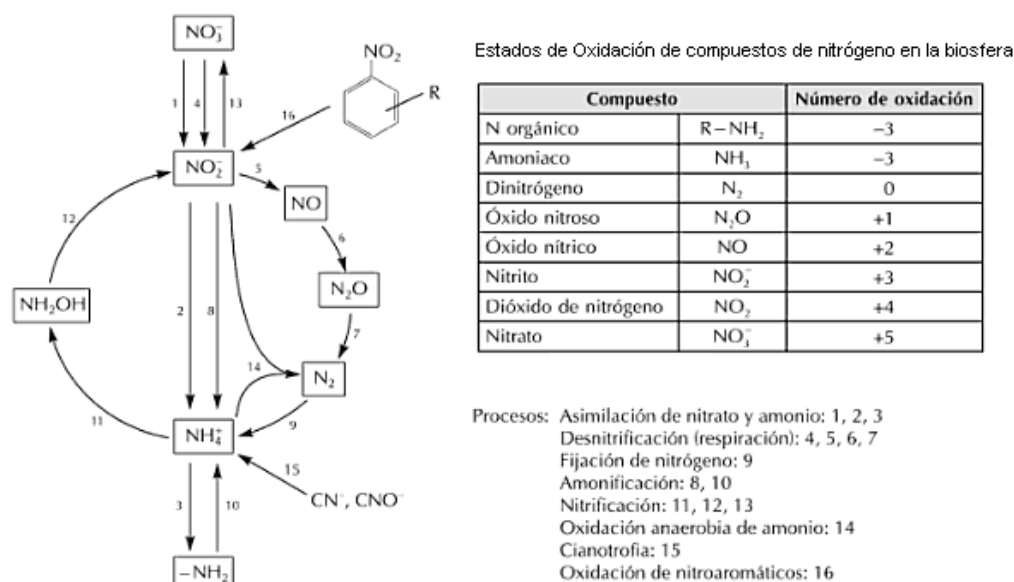


Figura1. Ciclo biogeoquímico del nitrógeno (Fuente: Castillo et al., 2005)

Minerales como el fósforo se pueden obtener de la meteorización de rocas fosfatadas; mientras que el amonio y el nitrato no se pueden conseguir por este proceso de descomposición física y química de los materiales sólidos, debido a que la concentración de nitrógeno en las rocas ígneas es muy baja y se considera despreciable. La principal fuente natural del NH_4^+ y NO_3^- proviene de materiales orgánicos, el cual sufre un proceso de descomposición realizado por microorganismos.

La fijación de nitrógeno puede ocurrir de forma abiótica y biológica. Las reacciones de forma abiótica incluyen las descargas eléctricas y procesos de síntesis química mediante el proceso de Haber Bosch, el cual consiste en la utilización de altas temperaturas y alta presión para combinar el hidrógeno y el nitrógeno con miras a la producción de amoniaco (Estupiñan y Quesada, 2010). Mientras que la fijación biológica depende de las bacterias fijadoras de



nitrógeno, que son microorganismos encargados de tomar el N_2 de la atmósfera y transformarlo por medio de una enzima llamada nitrogenasa, en amoniaco.

El nitrógeno en el suelo se ve reducido por varios factores: absorción por las raíces de la planta desde la solución del suelo; pérdidas por lixiviación debido al lavado de las sales, donde ocurre la mayor pérdida de nitratos debido a su alto grado de solubilidad y volatilización ocasionada por las bacterias desnitrificantes presentes en el suelo, convirtiendo el NO_3^- en N_2 , el cual regresa a formar parte de la atmósfera (Campbell y Reece, 2007). El ciclo del nitrógeno dentro del suelo se puede observar en la *figura2*.

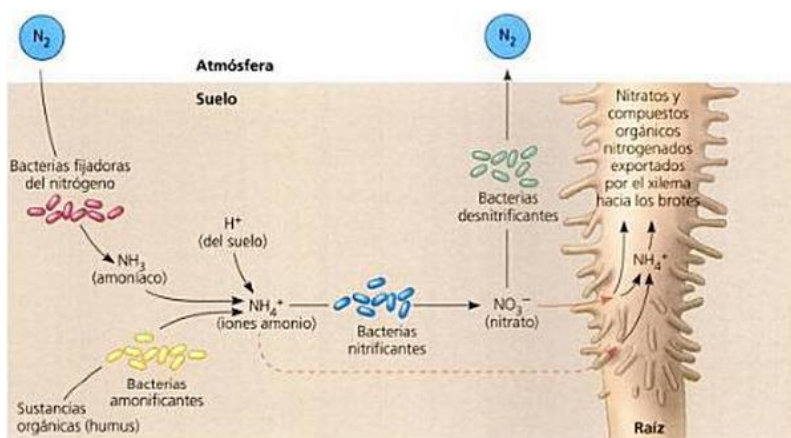


Figura2. Ciclo del nitrógeno edáfico. (Fuente: Campbell y Reece, 2007)

Velazco *et al.*, (2009) evaluaron la lixiviación de nitratos y nitritos en un sistema de pastoreo intensivo usando fertilizantes nitrogenados y lisímetros para la toma de las muestras; concluyendo que existe una tendencia a la movilización del nitrato por debajo de la profundidad de enraizamiento, lo cual, eventualmente puede superar los valores máximos permitidos de concentración, y que con el paso del tiempo se acumularán hasta alcanzar niveles potencialmente peligrosos para la salud humana.

El nitrógeno absorbido por las raíces se combina con componentes generados por el metabolismo de los carbohidratos para formar proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y otras moléculas orgánicas que dan lugar a nuevas células, propiciando de esa manera el desarrollo de la planta; por tanto, es de gran importancia para la planta contar con la cantidad de nitrógeno que requiere para sus procesos metabólicos, ya que de no ser así se reducirían los procesos de desarrollo afectando de esta manera la salud de la planta (Thompson y Troeh, 1988).

La deficiencia de minerales más común en las plantas es la de nitrógeno. Las hojas indican deficiencia de nitrógeno cuando se presenta un amarillamiento uniforme en las hojas más viejas, y esto es porque la clorofila, producto formado por el nitrógeno dentro de la planta, es responsable del color verde en las hojas, y en caso de presentarse una deficiencia de



nitrógeno, directamente se va a ver afectada la producción de clorofila en la planta (Sadava *et al.*, 2009).

Calderón *et al.*, (2011) estudiaron la relación existente entre los contenidos de clorofila y nitrógeno foliar utilizando un medidor de clorofila en la planta de orégano, y concluyeron que existe una estrecha relación entre la concentración de clorofila en la hoja y el contenido de nitrógeno foliar, ya que la cantidad de clorofila se incrementó en la medida en que aumentó el aporte de nitrógeno en las soluciones nutritivas.

El nitrógeno favorece la fotosíntesis, siempre que existan adecuadas condiciones de luminosidad, lo cual conlleva a un aumento en la síntesis de proteínas, asegurando en mayor proporción la conversión de energía lumínica en energía química en forma de productos de asimilación, favoreciendo así la síntesis de sustancias carbonatadas, necesarias para la formación de tejidos y estructuras vegetales, asegurando finalmente una alta fijación de carbono (Sierra, 2005).

4.2 Contaminación con nitrógeno de las fuentes hídricas

Una vez que la materia orgánica del suelo sufre el proceso de descomposición, quedan libres en él los iones de amonio y nitrato que pueden ser directamente aprovechados por las plantas; a partir de este momento, las raíces de la planta no tiene la posibilidad de diferenciar si un nutriente tiene origen en una fuente orgánica o inorgánica.

El nitrato presenta una alta solubilidad y no es absorbido por las partículas del suelo debido a su condición de anión (NO_3^-), por lo tanto, al encontrarse presente en la solución del suelo tiene la facilidad de moverse hasta las raíces de la planta tan fácilmente como de perderse por lavado. El amonio, caso contrario al nitrato, por su condición de catión (NH_4^+) se encuentra adsorbido en forma intercambiable por las partículas del suelo, condición que reduce en gran medida su movilidad, pero evita de esta manera que sea lavado del suelo (Parra *et al.*, 2003).

Cayuela *et al.*, (1994) estimaron las pérdidas de nitrato en un suelo con cultivo de maíz, con tasas de fertilización variadas y la misma dosis de riego, encontrando que la mayor cantidad de nitratos lavados se produjo en la parcela con el nivel de fertilización más elevado; concluyendo que las pérdidas por lixiviación de nitratos se favorece en condiciones de suelos descubiertos ubicados en regiones que presenten altas tasas de precipitación.

La cantidad de nitrógeno aplicado en la agricultura ha aumentado considerablemente en los últimos años. Sin embargo, se estima que, de lo aplicado, solamente un 30% es aprovechado por el cultivo y el resto se puede perder en el suelo por el lixiviado de sales (Urquiaga y Zapata, 2000). El lavado de nitratos a los reservorios de agua es función del volumen de agua drenada y el contenido de nitrato (NO_3^-) del suelo, es por esto que conocer la demanda hídrica



por parte de la planta puede ser importante en la reducción de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación (Marcano y Elizalde, 2010)

La contaminación por nitratos hace referencia a la acumulación de estos compuestos en las aguas subterráneas. Esta acumulación se ha visto incrementada con el paso del tiempo, debido al extendido (y en algunos casos indiscriminado) uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura. La precipitación y el riego disuelven los nitratos en la solución del suelo, llevándolos hasta los acuíferos. Los casos más preocupantes se presentan en los sitios donde el agua para consumo proviene de esos reservorios de agua.

La importancia de los nitratos en la dieta no se debe tanto a su comportamiento como a su transformación, mediante una serie de procesos biológicos complejos, en nitritos. Esta transformación puede, ocasionalmente, plantear problemas graves a bebés de menos de seis meses. El metabolismo de los recién nacidos hace muy favorable la conversión de los nitratos en nitritos en sus gastrointestinales. Además, durante los primeros meses de vida, el bebé conserva parte de su hemoglobina fetal, un 60% al nacer, que irá disminuyendo durante los primeros meses de vida del bebé. Esta hemoglobina fetal, que tiene una estructura ligeramente distinta de la normal, es muy susceptible de ser oxidada por los nitritos: el hierro II de la hemoglobina pasa a hierro III, y esta hemoglobina oxidada ya no puede transportar oxígeno a las células. Se puede provocar así una intoxicación mortal, llamada metahemoglobinemia, conocida también como el síndrome de los niños azules (Sapiña, 2006).

Esta transformación también se produce, en menor extensión, en los adultos y constituye una fuente importante de nitritos (5 miligramos al día). Estos nitritos pueden reaccionar con alimentos parcialmente digeridos en nuestro estomago para dar nitrosaminas, que son compuestos cancerígenos. Las nitrosaminas son extremadamente reactivas y atacan a otras moléculas de nuestros cuerpos, como el ADN (Sapiña, 2006).

Debido a los problemas sanitarios, la OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que el agua con una concentración de nitratos superior a 50ppm (N-NO_3) (1ppm = 1mg/L) sea considerada no potable. Para evitar esta problemática, la Unión Europea recomienda que se realicen Buenas Prácticas Agrícolas, las cuales indican que se aplique la cantidad de fertilizante que necesite el cultivo, con lo cual se disminuiría la cantidad de nitrato perdido por lixiviación (Abellán, 2006).

4.3 Eutrofización

El proceso de eutrofización resulta del aumento de nutrientes, principalmente nitratos y fosfatos, que dan lugar a un masivo desarrollo de fitoplancton y plantas acuáticas. La eutrofización es un proceso que ocurre de forma natural y en pequeñas proporciones; pero este proceso se ha visto acelerado debido a la intensificación de las actividades agrícolas,



especialmente en el ámbito de la fertilización, además de los vertimientos industriales y domésticos a los cuerpos de agua. Este proceso ocasiona un aumento en la producción de biomasa, disminuye la diversidad de especies, genera una alta demanda de oxígeno en el fondo y propicia la aparición de densas masas de algas y vegetación acuática que impiden el paso de la luz, aumentan la materia orgánica en descomposición y llevan poco a poco a la desaparición del cuerpo de agua (Roldan y Ramírez, 2008).

Hay ecosistemas enteros que actualmente están siendo saturados de lixiviados como el nitrato. El exceso de la acumulación de este ion ha traído como consecuencia un exagerado crecimiento de algas, las cuales contaminan el agua una vez se mueren (Baird, 2001).

4.4 Uso eficiente de los fertilizantes

El uso de fertilizantes tiene como propósito suministrarle a la planta la cantidad medida de macro y micro nutrientes requerida para un correcto crecimiento, desarrollo y producción. De modo que cuanto mejor sea el conocimiento sobre la nutrición de las plantas mayor será la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante utilizado. Debido a los nombrados problemas ambientales consecuencia del uso indiscriminado de fertilizantes, la fertilización se debe encaminar a la búsqueda del conocimiento de las exigencias nutritivas de las plantas con el fin de reducir las pérdidas procedentes por el lavado de nutrientes.

Aunque en el transcurso de los años, la eficiencia del proceso de obtención de amonio ha crecido considerablemente, estos fertilizantes sintéticos consumen el 70% de la energía usada en la producción agrícola en los países en desarrollo y el 40% en los desarrollados (IDAE, 2007).

El uso eficiente de los fertilizantes está determinado por aspectos como la dosis total, los momentos y forma de aplicación y el tipo de fertilizante que se va a utilizar. Además de los abonos nitrogenados convencionales, se están desarrollando dos grupos de fertilizantes con el fin de incrementar la eficiencia de los mismos.

Por una parte están los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación que, pretenden que las formas de nitrógeno asimilables por las plantas se liberen lentamente de forma que se reduzcan las pérdidas. Las estrategias en las que suelen basarse estos fertilizantes son: o bien las formas más activas están envueltas en un material que se disuelve poco a poco con la humedad del suelo o bien las formas activas están unidas a polímeros que disminuyen la solubilidad de las mismas.

González *et al.*, (2007) evaluaron la síntesis y comportamiento de un material polimérico aplicado como recubrimiento en un fertilizante de lenta liberación; y concluyeron que con el fertilizante convencional, los nutrientes quedan disponibles en menor tiempo, lo cual aumenta la cantidad de pérdidas que pudieran producirse en el suelo, dado que la planta



carece de tiempo suficiente para utilizar en gran medida los mismos. En el fertilizante de lenta liberación se ponen a disposición de la planta estos nutrientes durante un período más largo, lo que provoca su asimilación más gradual y evita las posibles pérdidas, proporcionándole a la planta mayor tiempo para asimilarlos. Como es de esperar, esto redundará en una disminución del número de aplicaciones de nutrientes y, por tanto, en un efecto positivo en el costo por este concepto y en beneficios medioambientales.

Existe un buen número de abonos naturales que se comportan y pueden ser utilizados como fertilizantes de liberación lenta, debido a los procesos de mineralización que se llevan a cabo en el suelo; estos abonos se pueden clasificar en dos grupos: productos naturales inorgánicos (fosfatos naturales, borosilicatos, etc.) y productos naturales orgánicos (estiércoles, residuos de cosecha, turba, compost, etc.) (García y Solano, 2005). Moreno *et al.*, (2007) estimaron la eficacia de los sistemas agroforestales en el control de la lixiviación de nitrato; y con los resultados obtenidos recomiendan tener precaución a la hora de aplicar en campo fertilizantes orgánicos, ya que encontraron que existe una relación directa entre la dosis de fertilizante orgánico aplicada y la cantidad de nitratos lixiviados.

Por otra parte están los fertilizantes estabilizados, que se basan en que algunas formas de nitrógeno van acompañadas de moléculas inhibitoras de procesos de transformación del nitrógeno en el suelo. Por ejemplo, una fuente de nitrógeno con amonio más una molécula inhibidora de la nitrificación haría que el proceso de nitrificación (paso de amonio a nitrato) se realice de una forma más lenta y el nitrógeno permanezca durante más tiempo en forma de amonio que es retenido por las arcillas del suelo y no es susceptible de ser lixiviado como el nitrato (IDAE, 2007).

Todas estas alternativas permiten realizar un manejo más eficiente de los fertilizantes, permaneciendo más tiempo disponibles en el suelo para las plantas y evitando así que se pierdan por lixiviación, provocando de esta manera, la contaminación de cuerpos de agua que pueden sufrir procesos de eutrofización o acumulación de nitratos perjudiciales para la salud humana.

4.5 Lisímetro de drenaje

Son equipos destinados a medir el agua perdida del suelo encerrado en un recipiente, ya sea, en la forma de drenaje, evaporación o transpiración de las plantas que crecen en él (*figura 3*). Se aprovecha además para determinar el contenido de sales solubles y nutrientes que el suelo pierde por lixiviación (Cifuentes Y Patricio, 1971).

Los siguientes son los objetivos de los lisímetros en todas sus aplicaciones (Cifuentes Y Patricio, 1971):



1. Obtener medidas directas de evaporación y transpiración, permitiendo estudiar los factores que afectan dichos procesos.
2. Proporcionar una medida absoluta y exacta del flujo evaporativo, como una primera etapa en la interpretación de fenómenos físicos encerrados en la atmósfera adyacente. El flujo evaporativo es solo uno de los tres principales fenómenos de transporte –flujo de vapor de calor y flujo de impulso y se puede ser medido en forma directa con satisfactoria exactitud.
3. Servir como un factor de comparación para la evaluación indirecta de métodos de medida o predicción de la evapotranspiración.
4. Servir como un factor de comparación en la evaluación de instrumentos diseñados para medir precipitaciones en la forma de lluvia o rocío.
5. Medir las pérdidas de evaporación de agua desde un suelo desnudo como consecuencia del ascenso capilar.
6. Estudiar la lixiviación de los diferentes nutrientes del suelo.
7. Determinar la cantidad de agua que escurre a través del suelo por drenaje.
8. Como medio para determinar las cantidades de agua, fertilizantes y nutrientes que es necesario agregar al suelo.

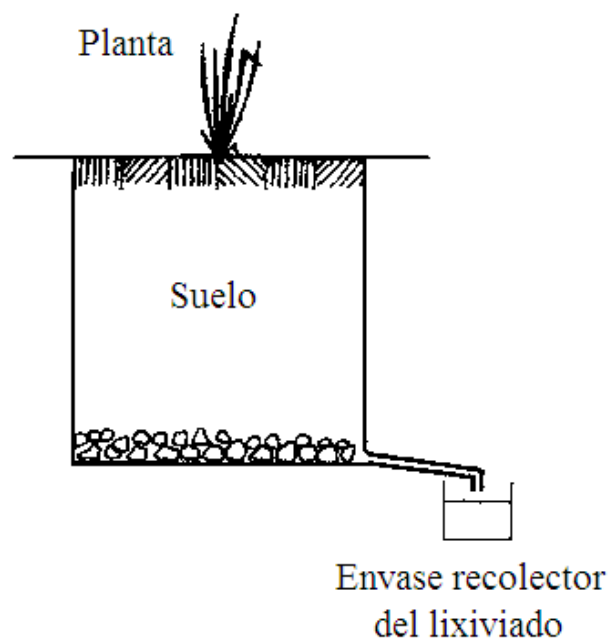


Figura 3. Diagrama de un lisímetro de drenaje.



4.6 Cultivo de la estevia

La especie *Stevia Rebaudiana Bertoni*, comúnmente conocida como stevia, es cultivada extensamente por sus hojas dulces. Como un sustituto del azúcar, el sabor de la stevia es bajo al principio y la duración más larga que el de azúcar, aunque algunos de sus extractos puedan tener un sabor amargo o de concentraciones altas. Sus extractos contienen un sabor hasta 300 veces más dulce que el azúcar (Villagrán *et al.*, 2009).

Se ha encontrado que el cultivo de estevia se adapta generalmente bajo las siguientes condiciones: temperatura entre 24 – 28°C, humedad relativa de 75 – 85%, precipitación de 1.000 – 2.000mm/año, altitud entre 300 – 1.200msnm, terreno plano – ondulado y en suelos franco a franco arenosos, requiere de 13 horas luz día; se desarrolla en suelos bien drenados, con buen contenido de materia orgánica, ligeramente ácidos (pH entre 5.5 a 6.5). Las láminas de agua utilizadas varían entre 2-6mm dependiendo de las condiciones del suelo y el clima del lugar donde se siembre (Corpoica, 2011).

Dentro de los elementos nutricionales que normalmente exige la planta, el potasio (K) ocupa el primer lugar, porque cumple una función muy importante, favoreciendo el rendimiento de hoja seca. El nitrógeno (N), sin embargo, aumenta el crecimiento de la planta, en el número de nudos, diámetro de tallo y número de ramas, pero no influencia en el aumento de rendimiento de hojas secas. El fósforo (P), por otra parte, aumenta el desarrollo floral y radicular de la planta. No necesita muchos fertilizantes ya que en exceso favorecen el crecimiento de las hojas pero no su poder endulzante (Stevia-Paraguay, 2014).

4.6.1 Manejo del cultivo

La adecuada preparación del suelo antes del establecimiento del cultivo, es esencial para alcanzar un buen desarrollo y producción. La estevia exige una estricta preparación del suelo, con labores de arado a una profundidad no mayor a 25cm; previo a la siembra se debe realizar un curado ya sea con productos químicos o con procedimientos físicos con el propósito de controlar hongos, larvas de insectos y nematodos presentes en el sustrato, dado que dichos organismos pueden ocasionar pérdida de mudas o afectar el crecimiento de las mismas, así como se pueden diseminar a través de ellas. Así mismo, evita la germinación de semillas de malezas, las cuales compiten con las plántulas recién nacidas (Casaccia y Álvarez, 2006).

El número de plantas que se pueden sembrar por unidad de superficie depende de diversos factores como el clima, la humedad relativa, la luminosidad y la fertilidad del suelo, entre otros. Las altas densidades reducen el desarrollo de ramas laterales y disminuyen el rendimiento de peso seco por planta aumentado el número de plantas muertas en la cosecha, lo que causa dificultad en la producción de la misma.



Las plantas requieren cuatro podas de formación, una inicial, otra para generar brotes y formación de ramas, la siguiente para producir ramas secundarias; y la última, para ramas terciarias que producirán la cosecha (Cuervo, 2010).

La limitada profundidad y el escaso radio de expansión alcanzado por el sistema radicular, así como la naturaleza herbácea y el ritmo rápido de crecimiento de la planta de estevia, exige que el suelo tenga un adecuado nivel de humedad para asegurar el buen desarrollo de las plantas. En general, se recomienda para cultivos establecidos en zonas en donde la precipitación anual es inferior a los 1.400mm, la utilización de sistemas de irrigación, con el fin de suplir la necesidad hídrica del cultivo de Estevia. El riego más apropiado para la Estevia es el riego por goteo, porque evita el exceso de humedad en la planta, además permite una densidad más alta ya que las plantas no tienen que competir por el agua (Cuervo, 2010).



5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización

El experimento se realizó en el Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas LASA, que pertenece a la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR, de la Universidad del Valle, ubicado en el municipio de Santiago de Cali, Valle Del Cauca, con una altura de 979msnm; coordenadas latitud $3^{\circ} 22' 22.29''$ N, longitud $76^{\circ} 31' 49.22''$ O (Figura 4).



Figura 4. Localización del experimento.

5.2 Construcción y calibración del tanque evaporímetro

Se construyó un tanque evaporímetro clase A con un diámetro de 60cm y una altura de 19cm; el cual se ubicó a una altura de 10cm de la superficie del suelo (Figura 5). El tanque evaporímetro se construyó en hierro galvanizado, y se cubrió con una capa pintura de aluminio de color blanco en su interior y exterior, su fondo se pintó de color negro según especificaciones FAO, 2006.



Figura 5. Tanque evaporímetro.

La calibración del tanque evaporímetro se realizó registrando el valor diario de evaporación, tanto del prototipo como del tanque ubicado en la estación meteorológica de la Universidad del Valle sede Meléndez (*Figura 6*), durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo del año 2013.



Figura 6. Tanque evaporímetro de la estación meteorológica (izquierda) y tanque prototipo (derecha).

El registro de la evaporación se realizó utilizando un limnómetro de gancho ubicado en forma perpendicular al tanque evaporímetro, en el cual, por medio de una regla milimetrada (*Figura 7*) se pudo cuantificar la diferencia de nivel diariamente.



Figura 7. Regla milimetrada incorporada en el limnómetro de gancho.

Con el registro de los datos de ambos tanques durante el periodo indicado, se realizó una regresión lineal con la cual se obtuvo una confiabilidad en la correlación de los datos registrados; con ello se garantizó que la lectura de evaporación registrada en el tanque evaporímetro del prototipo, se ajustaría a la lectura real de evaporación registrada por el tanque evaporímetro clase A ubicado en las instalaciones de la Universidad del Valle. De acuerdo a su ubicación, y siguiendo las indicaciones de (Allen et al., 2005), el coeficiente de tanque evaporímetro utilizado fue de 0,55.

La calibración del tanque se realizó registrando 15 datos de ambos tanques, encontrando que presentan comportamiento lineal al correlacionarlos, con un coeficiente de 0,997, con lo cual se garantizó una confiabilidad en los datos registrados de evaporación en el tanque evaporímetro en condiciones de invernadero (figura 8).

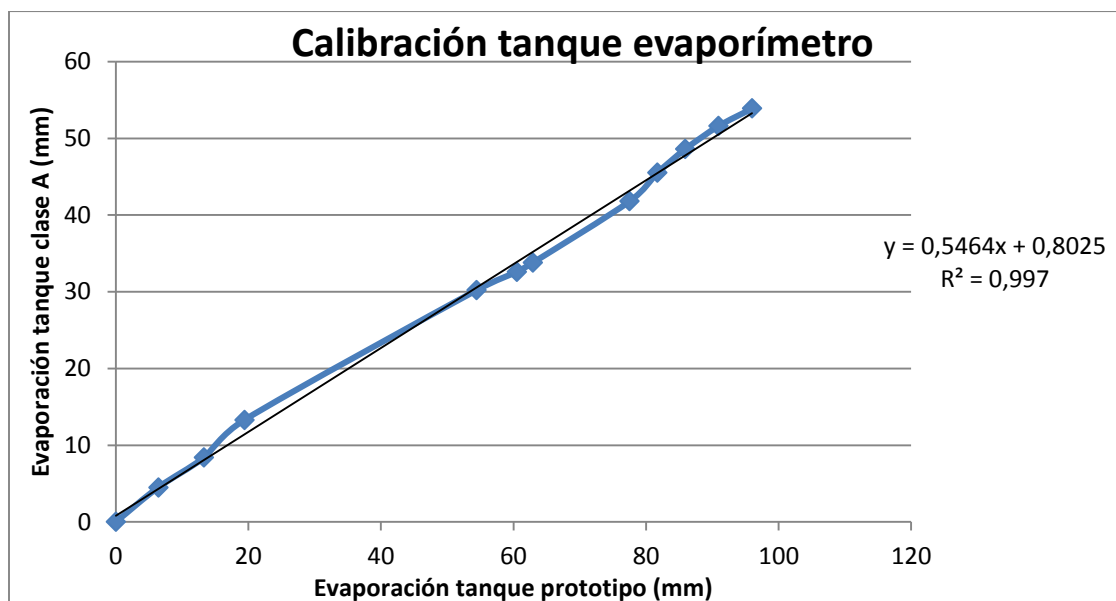


Figura 8. Calibración del tanque evaporímetro.

5.3 Diseño y construcción del lisímetro de drenaje

El lisímetro de drenaje se construyó con recipientes plásticos, recubiertos con una malla y grava en su interior; sobre estos materiales se dispusieron las unidades experimentales. El recipiente se perforó en la parte inferior lateral, donde se dispuso una manguera que se conectó a un segundo recipiente debidamente tapado, dentro del cual se ubicó un vaso graduado para la recolección del lixiviado. Se estableció una diferencia de altura entre el lisímetro y el recipiente recolector para favorecer el flujo (*Figura 9*).

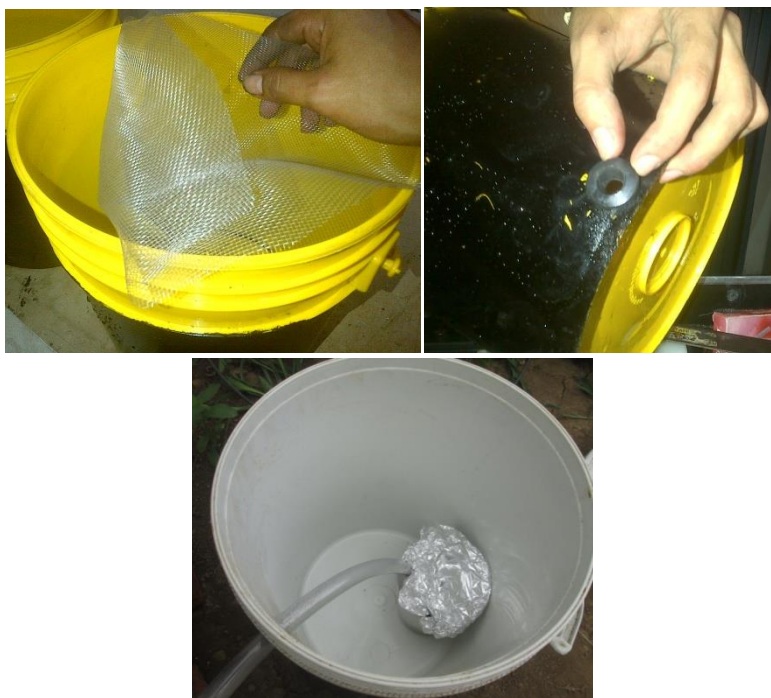


Figura 9. Construcción del lisímetro de drenaje.

La dimensión de los lisímetros fue de 0,25m de altura y 0,3m de diámetro (Figura 10), generando un volumen de $0,02\text{m}^3$ de suelo por cada lisímetro. Los lisímetros se inclinaron a un ángulo de 10° para facilitar el drenaje del lixiviado.

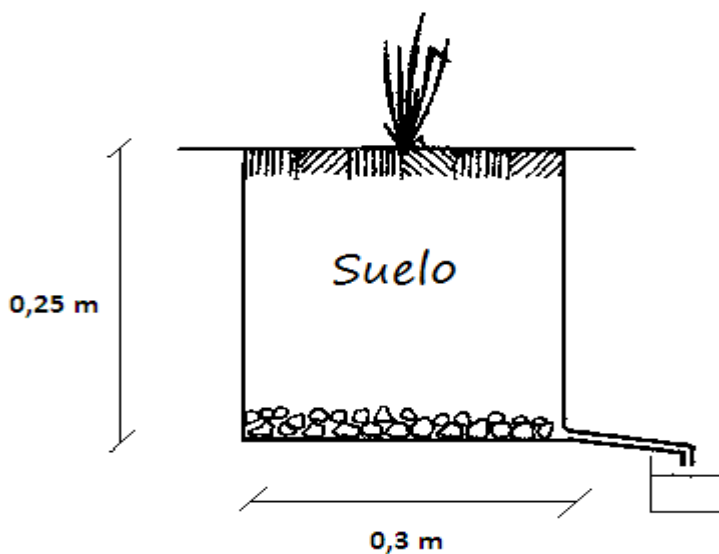


Figura 10. Dimensiones del lisímetro.



5.4 Caracterización del suelo

El suelo utilizado para el desarrollo del experimento se tomó de la finca “La Hacienda” localizada en Villa Rica, municipio ubicado en el departamento del Cauca (*Figura 11*); el suelo se encontraba en barbecho y anteriormente había sido utilizado para cultivar Estevia.



Figura 11. Ubicación geográfica Villa Rica.

Los suelos de Villa Rica son en su gran mayoría aptos para la agricultura, su textura varía desde arcillosos, a franco-limosos; con un pH de 5.5 a 6.8. Algunos suelos tienden a salinizarse por el uso excesivo e indiscriminado de agroquímicos. Estos suelos son desarrollados a partir de sedimentos aluviales moderadamente gruesos, con pendientes no mayores del 1%, pobremente drenados. Geomorfológicamente esta unidad corresponde a cauces antiguos o madre viejas del río Cauca. El municipio de Villa Rica tiene una gran diversidad en su cobertura vegetal y usos del suelo favorecidos por contar con tres pisos térmicos, por lo cual se puede decir que su vocación es agropecuaria (Villa rica-Cauca, 2012).

La siguiente tabla 1 presenta características del suelo utilizado en la investigación.



Tabla 1. Caracterización inicial del suelo.

CARACTERIZACIÓN DEL SUELO		
Propiedad	Unidad	Resultado
Textura	adimensional	Franco-Arcilloso
pH	adimensional	7,89
C.E.	dS/m	3,9
Sat. Hum.	%	29
C.I.C.E.	meq/100	29,7
C.O.	%	3,5
M.O.	%	6
Potasio	ppm	438
Calcio	ppm	3006
Magnesio	ppm	1103
Sodio	ppm	1021
Hierro	ppm	10
Manganeso	ppm	77
Cobre	ppm	7,2
Zinc	ppm	38
Boro	ppm	2,8
Fosforo	ppm	4217
S-SO ₄	ppm	422
N-NH ₄	ppm	13
N-NO ₃	ppm	177

5.5 Diseño experimental

El diseño del experimento utilizado fue completamente al azar (*Figura 12*). Se contó con 6 tratamientos: testigo absoluto que no llevó ninguna aplicación de nitrógeno (T0), fertilizante nitrato de calcio como fuente rápida de nitrógeno (T1), testigo comercial que emplea la lámina de riego y la dosis de fertilizante nitrogenada que utiliza el productor comercial: Triple 15 con una dosis de 150 kg N Hm⁻¹ (T2), fertilizante urea con inhibidores de la enzima ureasa como fuente de nitrógeno (T3), fertilizante sulfato de amonio como fuente de nitrógeno (T4) y (T5) que constó de la aplicación de lombricompost (*Tabla 2*).



Tabla 2. Descripción y dosis de los tratamientos utilizados en el experimento.

Tratamiento	Descripción	Dosis de N (Kg/ha)
T0	Testigo absoluto	0
T1	Nitrato de calcio	150
T2	Testigo comercial Triple 15	150
T3	Urea recubierta de azufre	150
T4	Sulfato de amonio	150
T5	Lombricompost	200

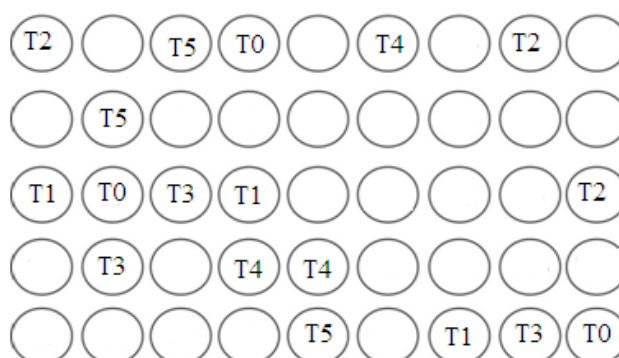


Figura 12. Distribución espacial de los tratamientos.

La unidad experimental consistió en 1 lisímetro con suelo previamente tamizado por 2 mm y una plántula de estevia. Se contó con 3 repeticiones por tratamiento para un total de 18 unidades experimentales.

5.6 Plan de fertilización

Los fertilizantes orgánicos y de lenta liberación se aplicaron 8 días antes de la siembra mientras que los inorgánicos se aplicaron en dos fracciones, al momento de la siembra y 30 días después de la siembra. Las dosis de fertilizantes aplicadas se muestran en la *Tabla 3* y la caracterización se puede observar en la *tabla 4*.

Tabla 3. Plan de fertilización implementado.

Tratamiento	Descripción	Dosis de N (Kg/ha)
T0	Testigo absoluto	0
T1	Nitrato de calcio	150
T2	Testigo comercial Triple 15	150
T3	Urea recubierta de azufre	150
T4	Sulfato de amonio	150
T5	Lombricompost	200



Tabla 4. Caracterización del abono orgánico empleado en el experimento.

LOMBRICOMPOST	
Propiedad	Valor
Carbono orgánico	13%
Nitrógeno total	0,98%
Fosforo total	1,80%
Potasio total	0,97%
calcio	3,78%
Magnesio	1,14%
Azufre	0,70%
pH	7,3
CIC	24,56 meq/100g
Conductividad	1,49 ms/cm

El abono de liberación lenta usado fue Nitroextend+S ® el cual contiene 40% de nitrógeno estabilizado y 6% de azufre además de inhibidores de la enzima ureasa. Se aplicó el 50% de la dosis en el momento del trasplante y el otro 50% restante a los 30 días después del trasplante (ddt) al igual que los abonos convencionales inorgánicos.

5.7 Variables de respuesta

Como variables de respuesta se determinó el porcentaje de nitrógeno total en tejido vegetal por el método de kjeldahl (IGAC 2006), nitrógeno total del suelo por el método de micro kjeldahl y contenido de nitratos en agua por el método de extracción de KCL 2N. Las determinaciones se realizaron siguiendo los protocolos de (IGAC, 2006).

También se consideraron variables explicatorias como el pH (potenciómetro), conductividad eléctrica (conductímetro) y materia orgánica del suelo (Método del colorímetro). Así mismo se realizaron mediciones a propiedades agronómicas de la planta, altura de la planta, diámetro de tallo y masa seca (*Figura 13*).



Figura 13. Medición de las variables agronómicas.

5.8 Eficiencia de la fertilización nitrogenada

Al hablar de la eficiencia de la fertilización nitrogenada se debe considerar el rendimiento del cultivo y hasta qué punto es rentable mejorar la eficiencia al tener que sacrificar los altos rendimientos al afectar la viabilidad económica de un determinado cultivo; para ello, se debe evaluar la dosis aplicada y la respuesta fisiológica en cuanto a producción en materia seca para cada uno de los tratamientos utilizados.

Para ello se evaluó y comparó la concentración de nitrógeno en el agua del lixiviado, el nitrógeno foliar en las plantas de estevia y el contenido total de nitrógeno en el suelo, teniendo en cuenta tanto los tratamientos con aplicación de fertilizantes de lenta y rápida liberación.

5.9 Fertilización

La aplicación de urea y lombricompost se realizó 8 días antes del trasplante de las plántulas a los lisímetros, y solo se llevó a cabo una aplicación en todo el ciclo del cultivo. La fertilización inorgánica (sulfato de amonio y nitrato de calcio) se realizó en dos aplicaciones, la primera 15 días después del trasplante de las plántulas a los lisímetros, y la siguiente un mes después de la primera fertilización inorgánica, en cada fertilización inorgánica se aplicó el 50% de la dosis.



5.10 Poda

La labor de la poda consistió en retirar el ápice o yema terminal de cada una de las ramas laterales con el fin de estimular el crecimiento arbustivo de la planta, esta poda se denomina de formación. La primera poda de formación se realizó 10 días después del trasplante y posterior a ella se realizaron las podas de formación cada 20 días, preferiblemente en horas de la mañana para evitar en mayor medida la pérdida de agua.

5.11 Determinación de la lámina de riego

Las láminas de riego se calcularon a partir de la evaporación potencial medida en tanque evaporímetro ubicado dentro del invernadero, coeficiente del tanque de 0,55 y coeficiente de cultivo promedio de 1,2 (Jurado y Torres, 2013).

Para determinar el volumen de agua que se aplicó a cada tratamiento se utilizó la siguiente ecuación:

$$Volumenderiego = Etp * c * C_x * A \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

Etp: Evapotranspiración potencial en mm, medida en el tanque evaporímetro.

Cx: Coeficiente del tanque evaporímetro. De acuerdo a su disposición en el invernadero el coeficiente utilizado es de 0,55 (Allen et al., 2006)

C: Coeficiente multiplicador del cultivo. Igual a 1,2

A: Área del lisímetro. $0,23m^2$

Aplicando la *Ecuación 1* se estimó el volumen de agua aplicado diariamente por medio del sistema de riego localizado instalado en el invernadero (*Figura 13*). Las láminas de riego utilizadas durante el desarrollo del experimento estuvieron entre 35,6 y 53,5 ml/m² (anexo Tabla 7). La lámina promedio empleada para el tratamiento “testigo comercial” fue de 270 ml/m² de acuerdo a lo reportado por (Jurado y Torres, 2013).



Figura 14. Sistema de riego localizado.

5.12 Control de plagas y enfermedades

El control de plagas se realizó en forma manual, identificando oportunamente las plantas afectadas y procediendo a su limpieza, eliminando todo rastro de la plaga en la planta (*Figura 15*). Durante el ciclo del cultivo no se presentó ninguna enfermedad que afectara el correcto desarrollo de la investigación.



Figura 15. Control manual de plagas.

5.12 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico descriptivo a los datos obtenidos, análisis de distribución normal, y análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre tratamientos.



También se hicieron pruebas postanova en los casos pertinentes para la comparación de medias. Se establecieron relaciones entre variables utilizando la matriz de correlación de Pearson. Se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 22.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Efecto de la fertilización nitrogenada en el nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para el contenido de nitrógeno foliar a los 45 ddt (días después del trasplante), pero se evidenció que el tratamiento con mayor acumulación de este elemento en las hojas fue el lombricompost, con un valor de 1,03%; mientras que el tratamiento con menor valor fue el testigo comercial, siendo este de 0,05% (figura 16).

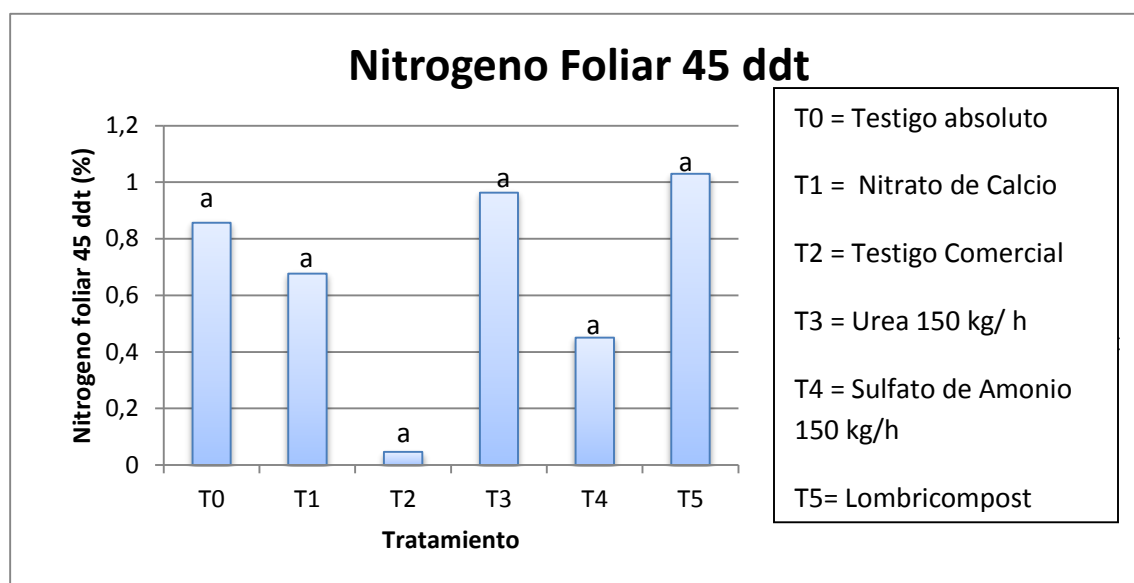


Figura 16. Comparación entre el porcentaje de nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante y los tratamientos.

El tratamiento con urea recubierta no presentó diferencias significativas con el nitrato de calcio (T1) ni con el testigo comercial (T2). Al comparar este tratamiento con el testigo absoluto (T0) se encontraron comportamientos similares en el contenido de nitrógeno foliar a los 45 ddt.

Tanto el fertilizante inorgánico de lenta liberación (T3) como el fertilizante orgánico de lenta liberación (T5) presentaron comportamientos similares en el contenido de nitrógeno foliar a los 45 ddt, y presentaron mayores contenidos que los tratamientos con nitrato de calcio,



testigo comercial y sulfato de amonio, Coincidiendo con los resultados de Muños et al., (2008) encontraron que dosis de abono orgánico entre 800 y 1200 kg/ha dieron los mayores rendimientos con respecto a la fertilización inorgánica de *Solanum Phureja* (papa criolla) e los abonos orgánicos mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo y está a su vez incorpora gradualmente nutrimentos al cultivo (Barrera, 2004).

6.2 Efecto de la fertilización nitrogenada en el nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante

Para el Nitrógeno foliar a los 90 ddt se obtuvieron valores entre el 0,9% y 1,67% correspondientes a los tratamientos testigo comercial y sulfato de amonio respectivamente (figura 17).

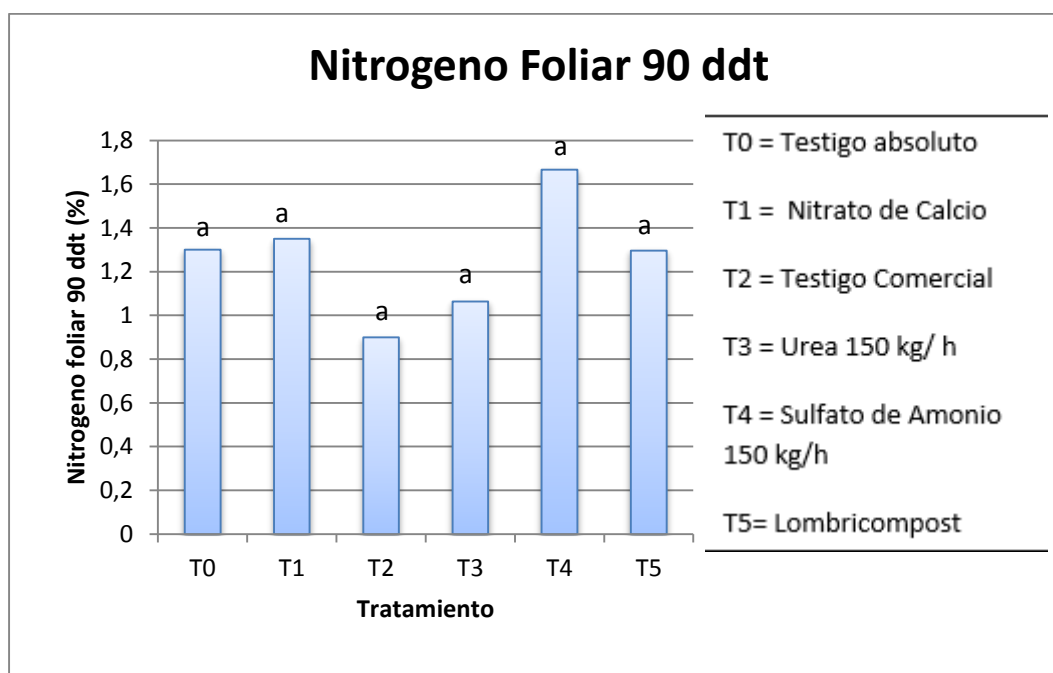


Figura 17. Comparación entre el porcentaje de nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante y los tratamientos.

Se puede observar una variación de los valores obtenidos para el nitrógeno foliar a los 90 ddt con respecto a los valores obtenidos a los 45 ddt, continuando de esta forma sin presentar diferencias significativas entre tratamientos. Los tratamientos obtuvieron porcentajes mayores al 1% a excepción del testigo comercial, pero estos valores fueron inferiores a los encontrados por Borda Molina et al, (2011) que reporta contenidos de nitrógeno foliar para estevia entre 1,92% y 2,20 %. Pero la mayor afectación se pudo evidenciar en el tratamiento de testigo comercial y se debe fundamentalmente a que los fertilizantes químicos nitrogenados tienen una alta solubilidad y al ponerse en contacto con la humedad del suelo rápidamente se ionizan quedando estos iones expuestos a la volatilización y al lavado



y a medida que las cantidades que se apliquen sean mayores ocurrirán mayores pérdidas y menor aprovechamiento de los mismos. (Almaguer, 2013)

6.3 Efecto de la fertilización nitrogenada en el nitrógeno lixiviado a los 45 días después del trasplante

En relación al NO_3^- lixiviado en el agua de drenaje, los valores encontrados a los 45 ddt estuvieron entre $2,07 \text{ mg L}^{-1}$ y $25,83 \text{ mg L}^{-1}$ correspondientes al testigo absoluto (T0) y nitrato de calcio (T1) respectivamente (figura 18). Para un cultivo de caña de azúcar, Estrada et al., (2007) encontraron concentraciones de nitrógeno lixiviado de $0,78 \text{ mg L}^{-1}$ a $7,33 \text{ mg L}^{-1}$ con aplicaciones de 120 kg Hm^{-2} de nitrógeno, observando un incremento de la lixiviación de nitratos y amonios durante las primeras lluvias de los periodos húmedos. Los valores de concentración de nitratos encontrados en el experimento son bajos en comparación con los obtenidos por Estrada et al., 2007 sin embargo se debe tener en cuenta que cuando el cultivo se encuentra a cielo abierto y no bajo condiciones de invernadero, se favorece la lixiviación de nitratos ocasionada, además del agua de riego, por el lavado de sales debido a las precipitaciones.

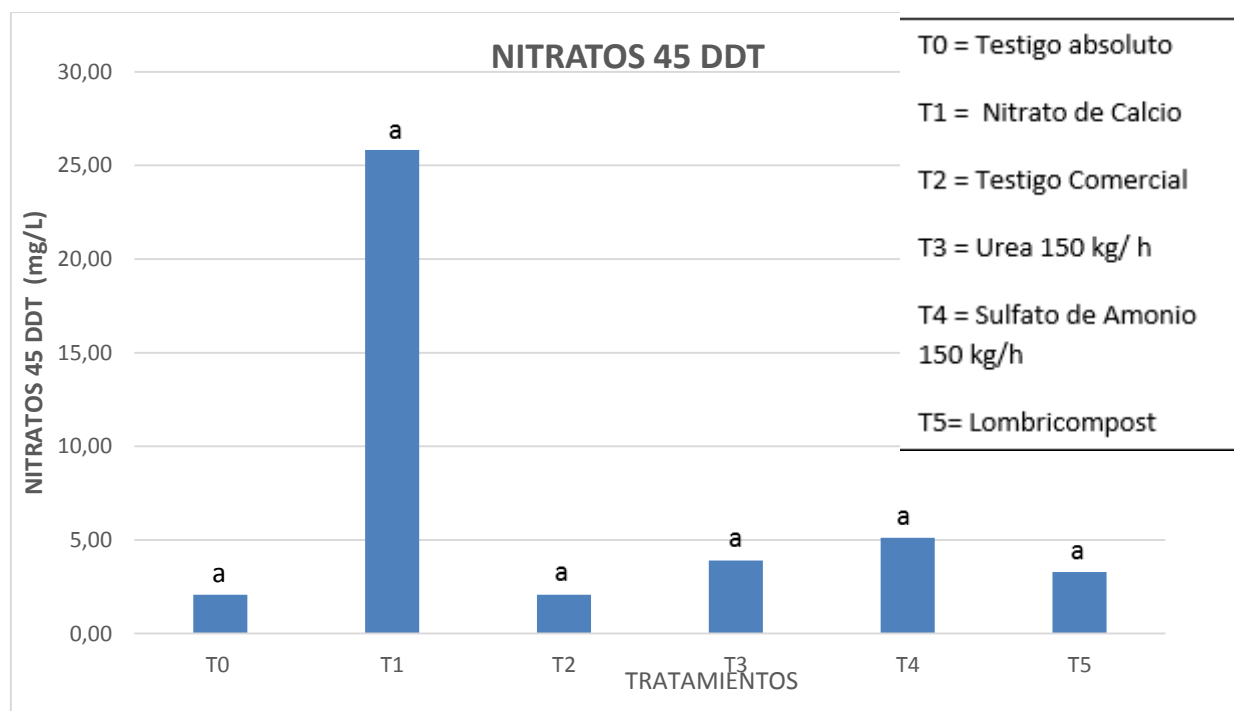


Figura 18. Comparación entre el contenido de nitratos a los 45 días después del trasplante y los tratamientos.

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se puede evidenciar que el tratamiento con nitrato de calcio (T1) presenta una concentración 80,9% por encima del tratamiento subsiguiente, correspondiente al sulfato de amonio (T4). La presencia de altas concentraciones de nitratos (por encima de 10 mg/L) podrían facilitar el lavado tal como lo



manifiesta Arauzo et al., (2003) quienes obtuvieron mayores concentraciones de nitratos en un cultivo de maíz, al fertilizar con 130 kg Hm^{-2} de nitrógeno, el 51% del fertilizante pasó a enriquecer el acuífero con nitratos debido al lavado, obteniendo una concentración de 44 mg L^{-1} de nitrógeno en el lixiviado. A pesar de que el nitrato de calcio ofrece el nitrógeno de forma inmediatamente disponible debe ser fraccionado, puesto que con la aplicación de láminas de riego adecuadas todavía puede generarse lixiviación y no permitir la absorción por parte de las plantas. Así mismo, dosis muy altas de fertilizantes, aun de liberación lenta con adecuado manejo del agua pueden generar lixiviación y contaminación con nitratos en el agua de drenaje.

6.4 Efecto de la fertilización nitrogenada en el nitrógeno lixiviado a los 90 días después del trasplante

A los 90 ddt, se encontró un contenido de NO_3^- del agua de drenaje con valores entre $0,41 \text{ mg L}^{-1}$ y $10,33 \text{ mg L}^{-1}$ correspondientes al sulfato de amonio (T4) y nitrato de calcio (T1) respectivamente (figura 19).

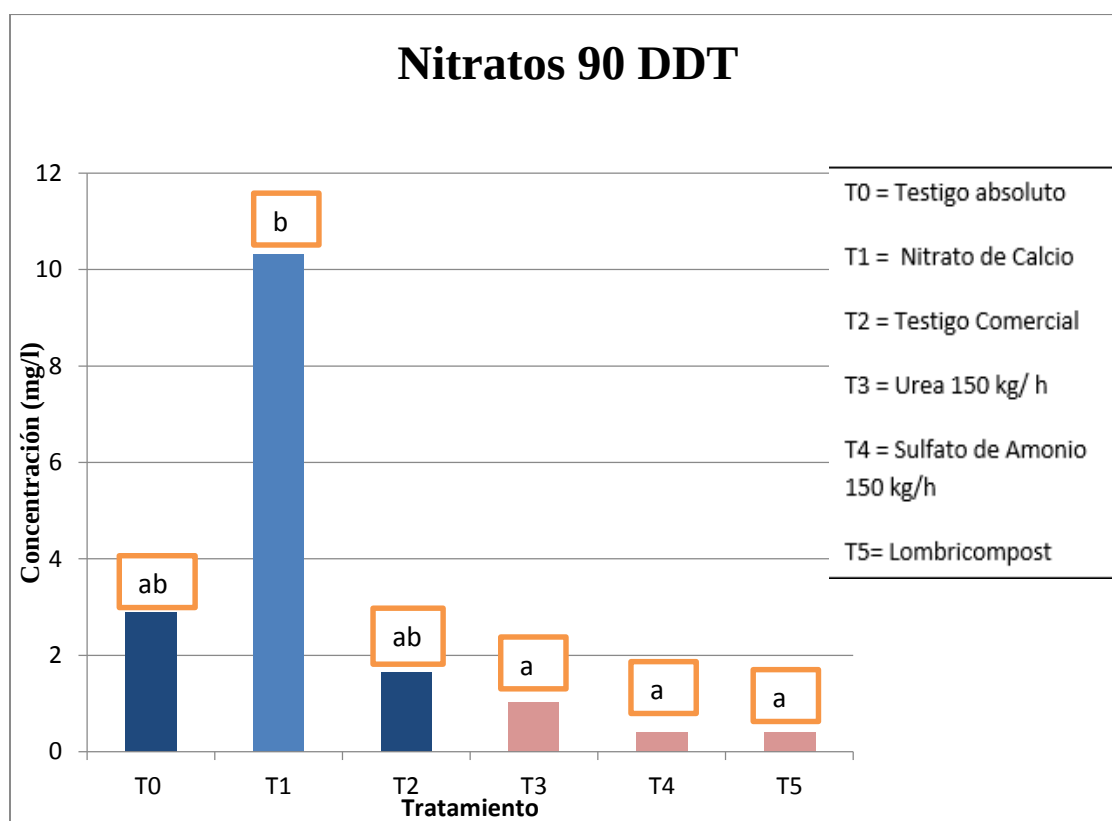


Figura 19. Efecto de la fertilización nitrogenada en la concentración de nitratos lixiviados a los 90 días después del trasplante.

El nitrato de calcio (T1) presenta diferencias con respecto a los demás tratamientos, estando un 31,6% por encima del valor subsiguiente, correspondiente al sulfato de amonio (T4).



El tratamiento correspondiente a la urea recubierta (T3), presentó un comportamiento similar a los tratamientos con sulfato de amonio (T4) y lombricompost (T5). Para los tratamientos con fertilizantes de lenta liberación (T3 y T5) era de esperarse que presentaran una menor concentración de nitratos lixiviados en el agua de drenaje, debido a que la liberación de los nutrientes se realiza de forma progresiva, y no se encuentran inmediatamente disponibles para la planta, como es el caso del nitrato de calcio (T1), con lo cual se estaría favoreciendo el lavado de nutrientes y la posterior contaminación de las aguas subterráneas y de fuentes superficiales, propiciando el deterioro de los cuerpos de agua y los procesos de eutrofización.

6.4.1 Volumen total de lixiviados y la pérdida de Nitrógeno neta

Al analizar las concentraciones de nitrato lixiviado a los 45 ddt se encontraron valores entre 2,07 y 25,83 mg ml⁻¹. Las mayores concentraciones de nitratos se encontraron en Nitrato de Calcio y Sulfato de amonio mostrando que estos fertilizantes suministran N rápidamente para las plantas pero son propensos a perderse por lixiviación. Por otra parte, las menores concentraciones fueron halladas en los abonos orgánicos debido posiblemente a que en su composición la mayor parte del N presente es orgánico, por lo cual es necesario que se realice el proceso biológico de la mineralización para llegar a formas químicas inorgánicas asimilables por la planta y susceptibles a lixiviación. Es importante resaltar que a pesar de utilizar un Kc aproximado promedio y usar abonos de liberación lenta orgánicos e inorgánicos se presentó lixiviación de nitratos para todos los tratamientos.

A los 90 días las concentraciones de Nitrato lixiviado disminuyeron para la mayoría de los tratamientos. El tratamiento Nitrato de calcio obtuvo significativamente la mayor concentración de nitrato lixiviado en comparación con los demás. A pesar de que las concentraciones halladas en todos los tratamientos no superaron la máxima concentración recomendada por la OMS de 50 mg L⁻¹ de nitratos (Arauzo y Valladolid, 2013), la presencia de N en los lixiviados implican bajas eficiencias en la fertilización nitrogenada y aumento en los costos de producción.

Los volúmenes de lixiviados recolectados en el periodo de seguimiento del cultivo no presentaron diferencias significativas entre abonos de liberación lenta ni entre estos con los testigos ni con Nitrato de calcio (figura 20). No obstante, Testigo Comercial si fue significativamente diferente de los demás tratamientos al alcanzar casi los 2000 ml de lixiviados, debido al exceso de agua que aplica el agricultor al cultivo, lo que favorece la pérdida de agua y fomenta la lixiviación. Es de resaltar que a medida que el cultivo creció, el volumen del agua lixiviada disminuyó, debido a la mayor demanda hídrica y al aumento de la densidad de raíces que incrementaron la absorción.

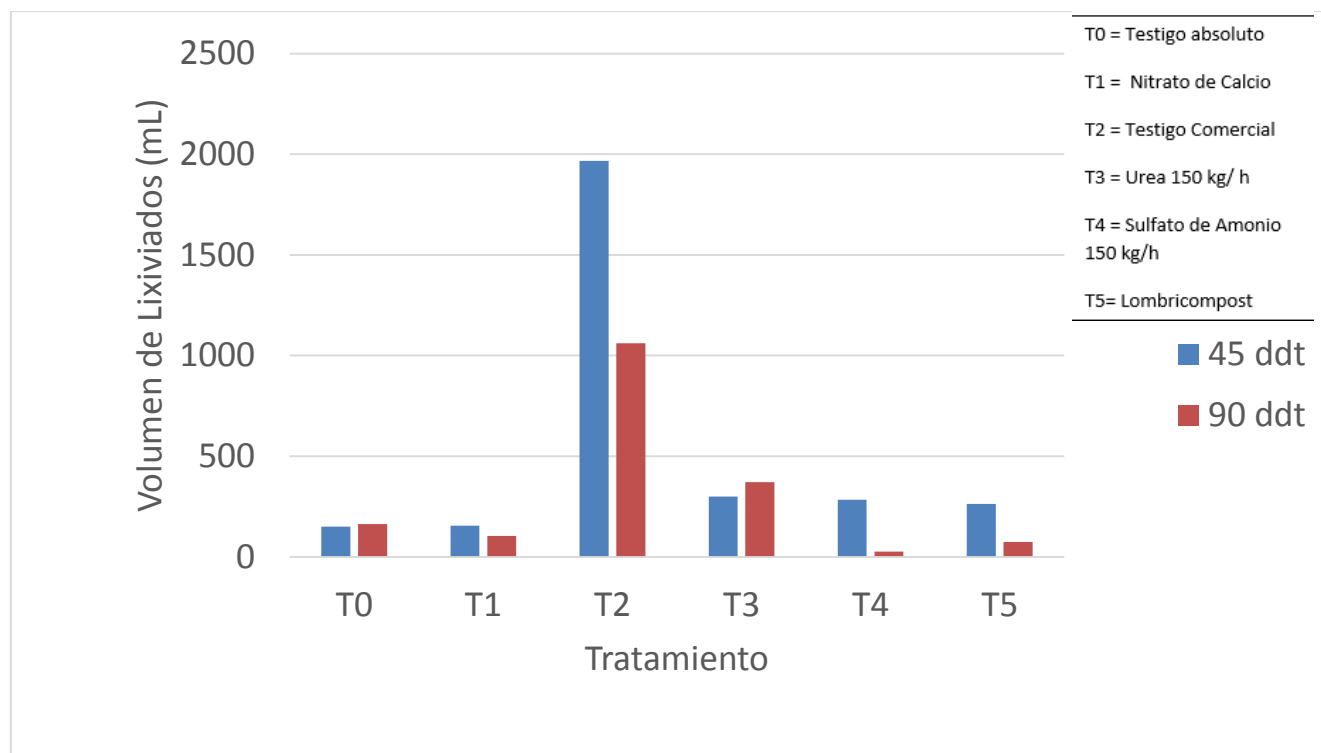


Figura 20. Volumen de solución del suelo lixiviado a los 45 y 90 días después del trasplante de estevia (*Stevia Rebaudiana B*).

La figura 21 muestra la cantidad neta de nitratos perdidos por lixiviación a partir de la concentración determinada en laboratorio y el volumen total recolectado para todos los tratamientos. La mayor pérdida de nitratos se presentó a los 45 ddt. Las mayores pérdidas de nitratos se presentaron en los abonos convencionales Nitrato de calcio debido a su alta solubilidad y en el Testigo Comercial por la lámina excesiva de riego utilizada. La pérdida de nitratos de los tratamientos de abonos de lenta liberación estuvo por debajo de lo perdido por los fertilizantes convencionales.

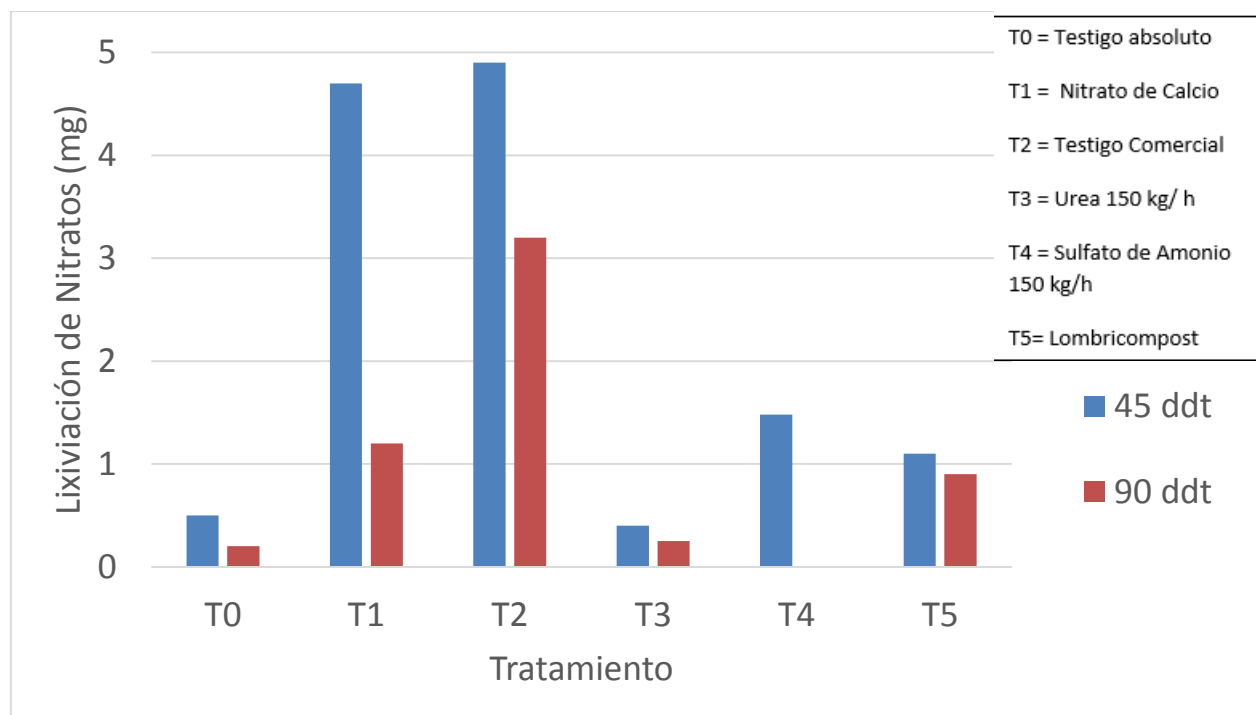


Figura 21. Efecto de la aplicación de abonos de liberación lenta en la cantidad de nitratos lixiviados a los 45 y 90 días después del trasplante de estevia (*Stevia Rebaudiana B*).

Los nitratos lixiviados a los 45 ddt estuvieron entre 0,4 y 4,9 mg planta⁻¹ para los tratamientos Urea y Testigo Comercial respectivamente. A los 90 ddt los nitratos lixiviados fueron menores para todos los tratamientos; Tratamiento T2 presentó la mayor cantidad de nitratos, por encima de los hallados en los Tratamientos T1.

6.5 Efecto de la fertilización nitrogenada en el nitrógeno total en el suelo a los 90 ddt

Para el nitrógeno total en el suelo al finalizar el ciclo del cultivo, se encontraron valores entre 0,25% y 0,4% correspondientes al testigo comercial y nitrato de calcio respectivamente (figura 22).

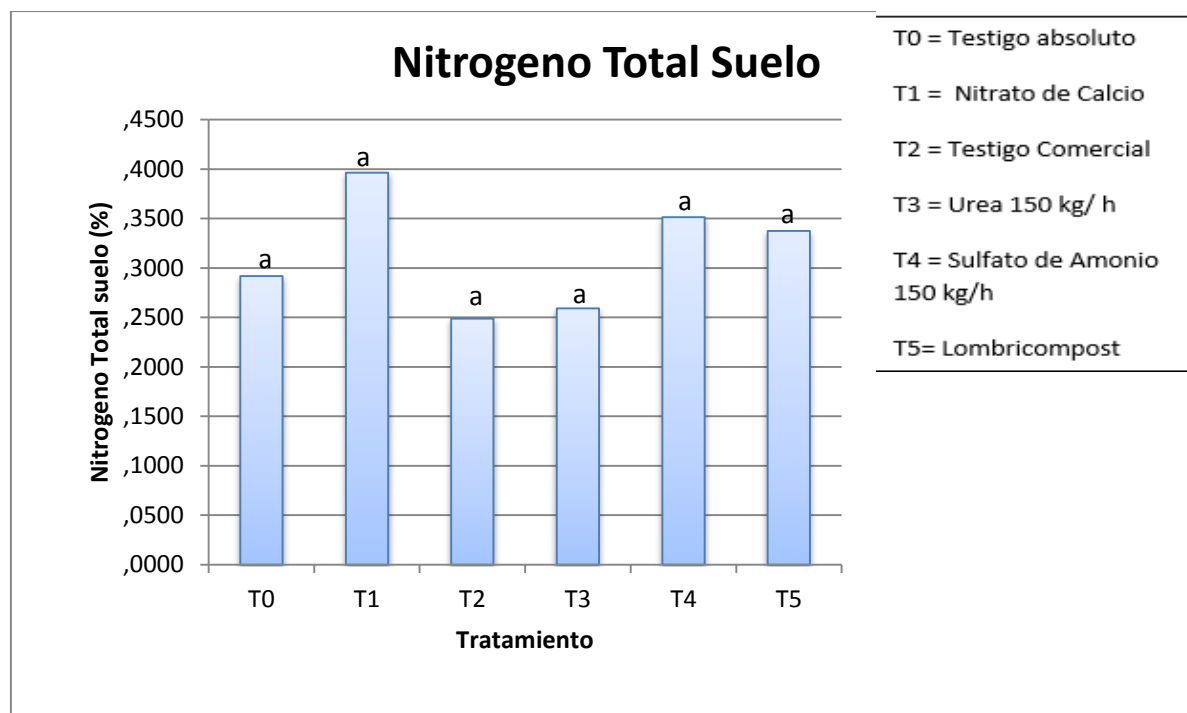


Figura 22. Comparación entre el porcentaje de nitrógeno total en el suelo y los tratamientos.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para el nitrógeno total en el suelo. Los valores estuvieron entre 0,25% y 0,40%, considerados como altos (González *et al.*, 2015). A pesar de esto, al contrastar los tratamientos Urea y el testigo comercial presentaron los menores valores. Esto podría deberse a que el contenido de nitrógeno total en el suelo esta principalmente en formas orgánicas que no permiten la rápida asimilación por parte de la planta. La velocidad de suministro del nutriente brindado por los tratamientos urea no lograron abastecer a la planta, lo que sugiere que la aplicación de este tipo de abono de liberación lenta debe hacerse con mayor tiempo de anterioridad a la siembra o trasplante para garantizar el suministro apropiado del N en el momento de mayor demanda por la planta. El alto valor de pH del suelo así como las altas temperaturas registradas en el periodo de la experimentación pudieron incidir en la actividad microbiana que limitó la solubilización de la urea y la descomposición de los abonos orgánicos, reduciendo la disponibilidad de N para la planta (Ballester-Olmos, 1995).



6.6 Efecto de la fertilización nitrogenada en la conductividad eléctrica del suelo

Para la variable explicatoria de conductividad eléctrica, al final del ciclo del cultivo se encontraron entre 0,16 y 1,68 dS/m para los tratamientos testigo comercial y sulfato de amonio respectivamente (figura 23).

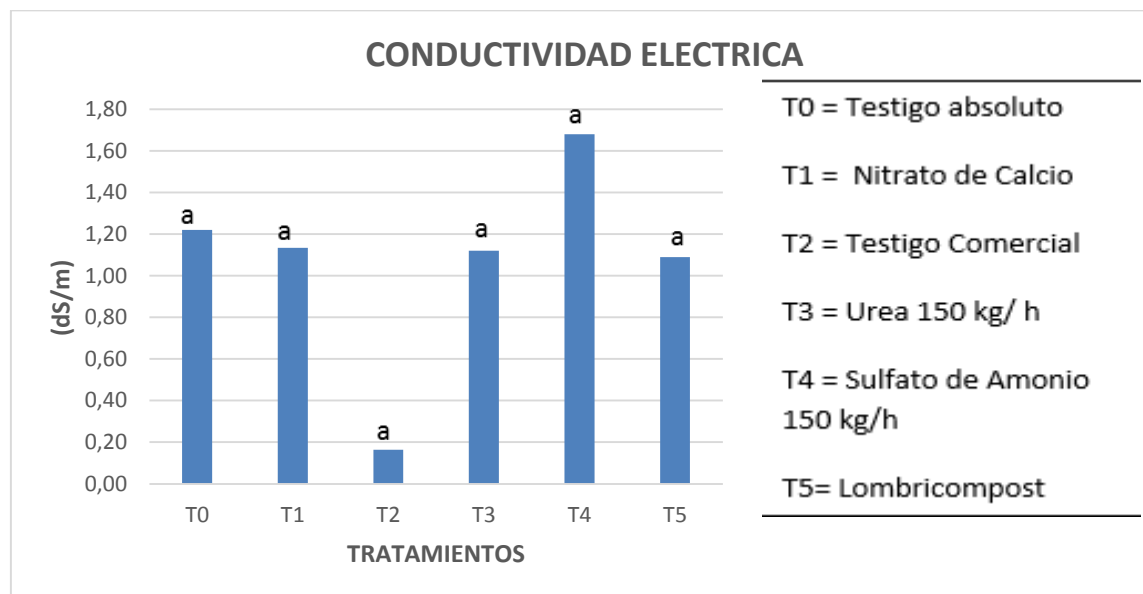


Figura 23. Comparación entre los valores de conductividad eléctrica al final del experimento.

Según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo se puede observar que el sulfato de amonio (T4) presentó un valor por encima de los demás tratamientos, realizando una modificación de dicha variable en el suelo, lo cual si se realiza de forma continua podría afectar en un futuro a los cultivos que se encuentren en el suelo donde se ha aplicado el sulfato de amonio. Carrasco et al., 2006, encontraron en cultivo de albahaca, que a medida que se incrementa la concentración de sales en la solución salina, el rendimiento tiende a disminuir; para el caso de la albahaca es recomendable no superar los 1,5 dS/m y este valor puede ser utilizado como referencia en el cultivo de la estevia debido a que también es una aromática.

El testigo comercial (T2), presentó el valor de conductividad eléctrica más bajo entre los tratamientos, lo cual contribuye a la conservación del suelo, evitando la dispersión de arcillas por parte de la sal acumulada por el uso de fertilizantes químicos u orgánicos.

Carrasco et al., 2006, evaluaron diferentes concentraciones de conductividad eléctrica en una solución nutritiva para un cultivo de albahaca, estableciendo tres tratamientos: soluciones de 1,5, 3 y 4,5 dS/m; obtuvieron un mayor rendimiento en hoja seca para el tratamiento de 1,5 dS/m y este fue disminuyendo a medida que se aumentaba la concentración de sales; asociando este valor a los obtenidos en los tratamientos T1 al T4, podemos decir que el rendimiento en hoja seca es indiferente al valor de conductividad eléctrica del suelo, ya que



el rendimiento del tratamiento T5 se encontró por encima de los demás tratamientos a excepción del T2, ya que el T2 presentó el mayor rendimiento debido a que fue el único tratamiento que utilizó una lámina de riego diferente, aplicando grandes volúmenes de agua lo cual favoreció el lavado de las sales y propicio el correcto desarrollo de las plantas.

6.7 Efecto de la fertilización nitrogenada en el pH del suelo

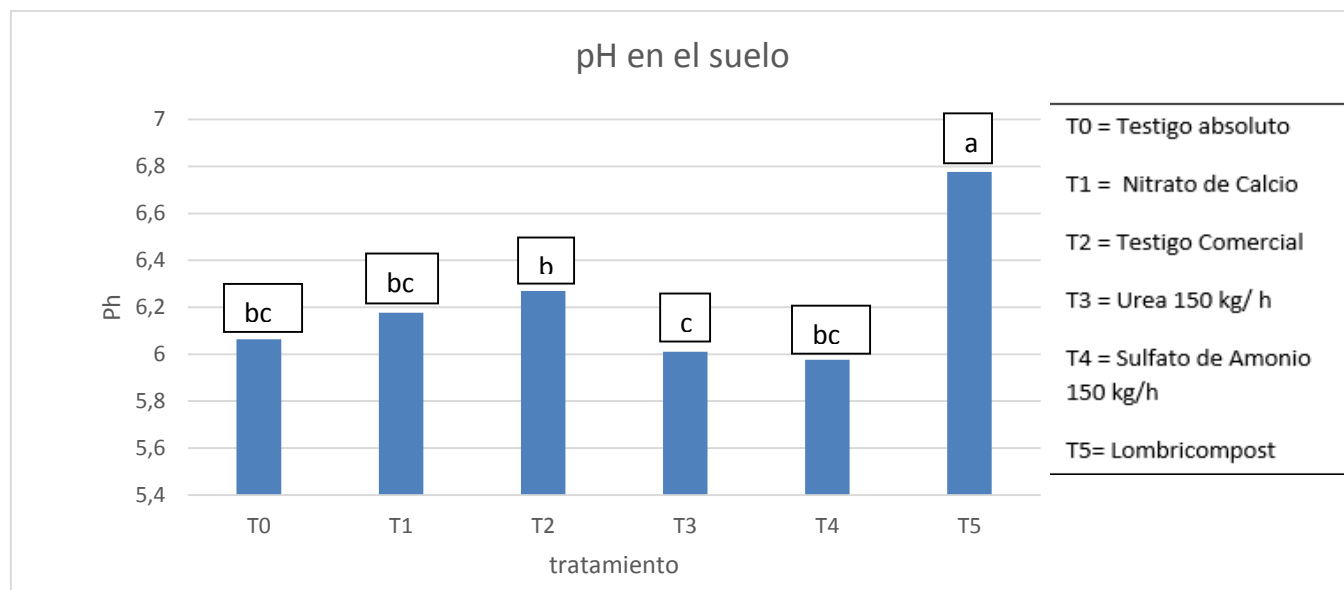


Figura 24. Comparación entre los valores de pH al final del experimento.

El valor de pH estuvo entre un valor mínimo de 5,9 y un valor máximo de 6,8 para los tratamientos sulfato de amonio y lombricompost respectivamente (figura 24).

El análisis estadístico permitió estimar diferencias significativas entre los tratamientos, sin presentarse diferencias entre los tratamientos del testigo absoluto, nitrato de calcio y sulfato de amonio.

Sin embargo, se puede observar que el tratamiento con aporte de material orgánico al suelo presentó un valor de pH más cercano al neutro, mientras que el tratamiento con aplicación de sulfato de amonio presentó un menor valor de pH, lo cual puede repercutir en la correcta asimilación de los nutrientes disponibles en la solución del suelo, ya que para algunos elementos el valor del pH define la disponibilidad o no del elemento por parte de la planta; por lo tanto, la aplicación de fertilizantes que alteren el pH de forma gradual, constituirá un factor negativo a la hora de evaluar el correcto desarrollo del cultivo debido al déficit en la absorción de nutrientes (Orús *et al*, 2011).



6.8 Efecto de la fertilización nitrogenada en el carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico presento, 90 días después del trasplante, un valor mínimo de 3,8% y un valor máximo de 4,9% para los tratamientos de sulfato de amonio y lombricompost respectivamente.

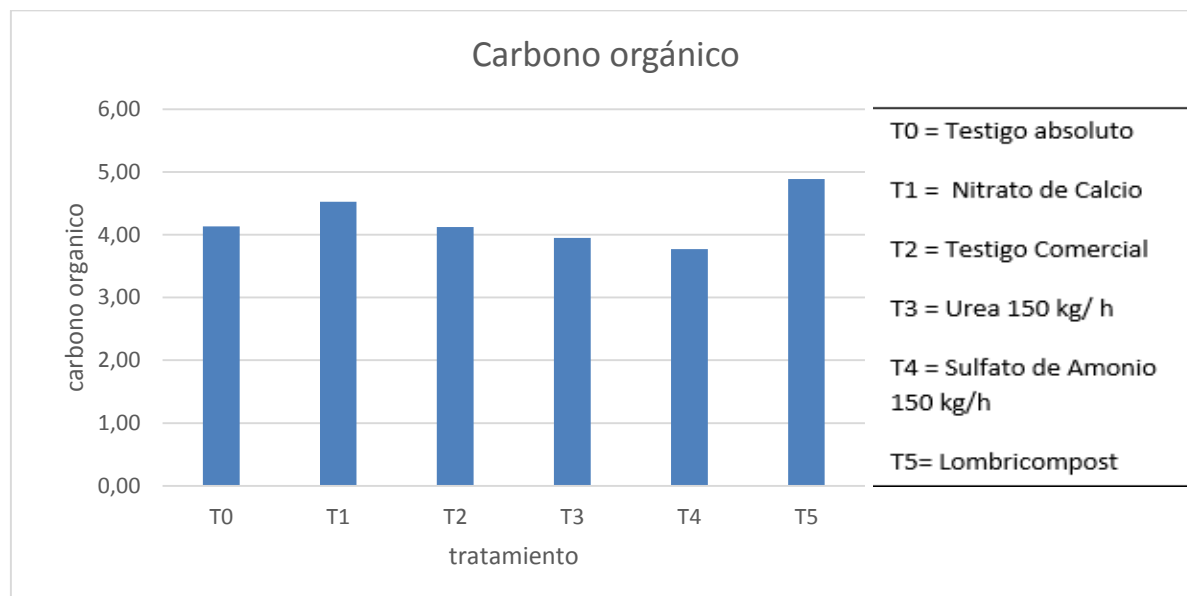


Figura 25. Comparación entre los valores de carbono orgánico al final del experimento.

El análisis estadístico indicó que, para los resultados de carbono orgánico obtenidos, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos (figura 25), lo cual indica que la aplicación de los fertilizantes utilizados es indiferente con dicha variable.

El mayor valor fue el del tratamiento con aplicación de lombricompost lo cual era de esperarse al ser este un abono con características orgánicas, ya que, la aplicación de estos abonos, además de proporcionar los nutrientes minerales necesarios para el desarrollo del cultivo, también permiten el cultivo de la micro fauna del suelo al disgregarse la materia orgánica presente en él. Carracero y Rivero, 1999, encontraron que el incremento del carbono orgánico se generó por la aplicación de material orgánico rico en carbono al suelo, el cual comienza a ser afectado por los procesos de degradación microbiana.



6.9 Variables agronómicas

Tabla 5. Resultado de la medición de las variables agronómicas por planta

Tratamiento	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (mm)	Peso seco raíz/planta (g)	Peso seco total/planta (g)	Rendimiento Mg hm ⁻²
Testigo Absoluto (T0)	36,3	4,2	0,3	14,7	4,6
Nitrato de Calcio (T1)	38,7	3,8	0,51	18,9	5,9
Testigo Comercial (T2)	39,3	6	3	108,2	30,6
Urea (T3)	33,3	3,9	0,3	17	5,2
Sulfato de amonio (T4)	32,3	3,9	0,2	15,2	4,8
Lombricompst (T5)	37,7	3,8	0,5	20,5	6,9

Las variables agronómicas evaluadas fueron el Altura planta, el diámetro del tallo y la masa seca a los 90 días después del trasplante.

Para la variable diámetro de tallo, se obtuvo un valor máximo de 6mm para el tratamiento T2, y un valor mínimo de 3,8mm para el tratamiento T5. Para todos los tratamientos se presentó una tendencia creciente a medida que aumentaban las láminas de riego aplicadas, por consiguiente el mejor desarrollo promedio del diámetro del tallo se logró con el tratamiento T2 debido a la gran cantidad de agua que la planta tuvo disponible para realizar su correcto desarrollo fisiológico.

Marín (2010), encontró una tendencia creciente en el diámetro de los tallos a medida que se aumentaban las láminas de riego aplicadas para el cultivo del cilantro similar a lo encontrado en el presente trabajo, concluyendo que el mayor diámetro promedio lo logró con el tratamiento de mayor aplicación de agua y que ese valor del diámetro tiene un comportamiento muy similar al alcanzado con láminas de riego superiores.

El análisis de materia seca, arrojó un valor máximo para el tratamiento T2 con 108,2g y el mínimo para T4 con 15,2g. A pesar de que algunas plantas tenían muchas hojas, estas eran de un tamaño pequeño debido a que la planta gasto gran parte de su energía en elongarse y no producir hojas. Se puede decir que el análisis de materia seca es un mejor indicador del comportamiento adecuado de la planta, debido a que el contenido de agua de las hojas puede proporcionar datos engañosos y erróneos, más aun cuando lo que principalmente se comercializa en la estevia es el producto deshidratado.

En general el tratamiento que mejor comportamiento tuvo en las características agronómicas del cultivo de estevia fue el T2 (testigo comercial), debido que su diámetro, número de hojas y altura de la planta fue superior a los tratamientos con aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos.



7. Evaluación de la eficiencia de la fertilización nitrogenada por la relación entre N foliar /N aplicado y N lixiviado/N aplicado.

La relación N foliar/N aplicado fue mayor para los fertilizantes de síntesis química como el Sulfato de amonio y Nitrato de calcio en comparación con el lombricompost y la Urea recubierta (Figura 26). La rápida disponibilidad del nutriente que brinda los fertilizantes convencionales hace que las plantas puedan absorberlo en el momento justo pero con mayor riesgo de lavado en el perfil del suelo. Los abonos orgánicos por el contrario, deben pasar por el proceso de mineralización, lo que disminuye la disponibilidad inmediata del nutriente. Salvo para el Nitrato Calcio y Sulfato Amonio, los porcentajes de N foliar con respecto al aplicado estuvieron por debajo del 30% coincidiendo con lo reportado por Hirel *et al.*, (2011).

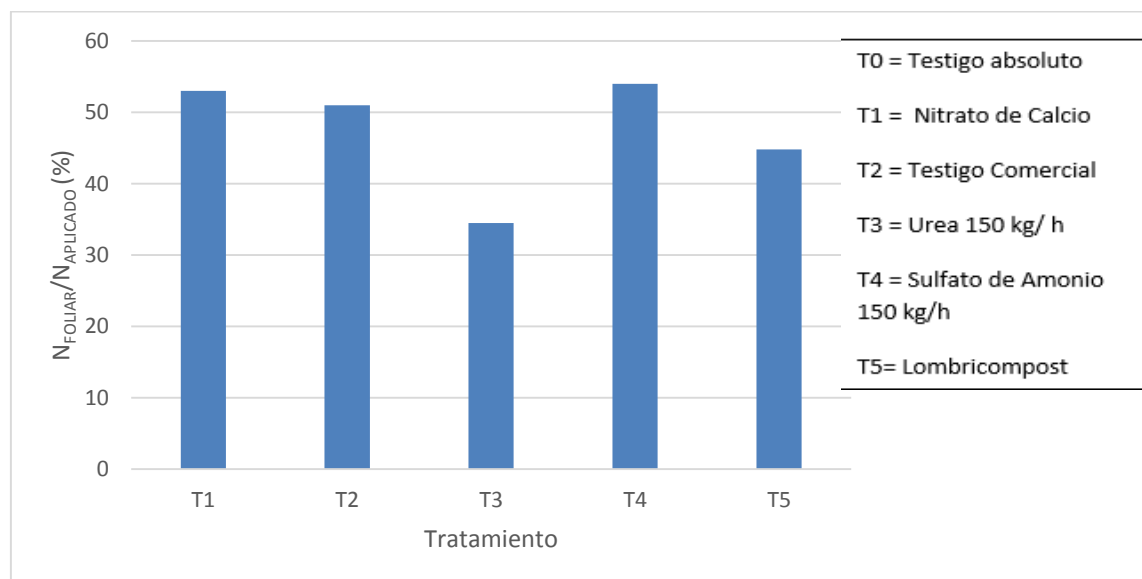


Figura 26. Relación entre el Nitrógeno foliar y el Nitrógeno aplicado en plantas de estevia (*Stevia Rebaudiana B*).

Los porcentajes de N lixiviado con respecto a N aplicado estuvieron por debajo del 1% para los abonos de liberación lenta debido en gran medida al manejo racional del agua y la baja disponibilidad del nutriente en formas químicas solubles en el momento de la medición (figura 27). Este resultado coincide con lo mencionado por Jegó *et al.*, (2012), quienes encontraron que la reducción de pérdidas de N es más significativa cuando se mejora el manejo del riego que cuando se mejora el manejo de la fertilización nitrogenada. A pesar de los bajos valores se destaca que los fertilizantes de rápida disponibilidad fueron los que presentaron la mayor lixiviación de nitratos mientras que los abonos orgánicos fueron los que presentaron la menor lixiviación. Los abonos orgánicos presentaron los menores valores de N lixiviado con respecto al N aplicado, las cuales estuvieron por debajo de 0.4%. El lombricompost logro reducir este porcentaje en 85%, con respecto al Nitrato de calcio, Estos



resultados coinciden con lo hallado por Alfaro *et al.*, (2006) quienes encontraron que los abonos orgánicos pueden reducir hasta en un 50% la lixiviación de nitratos.

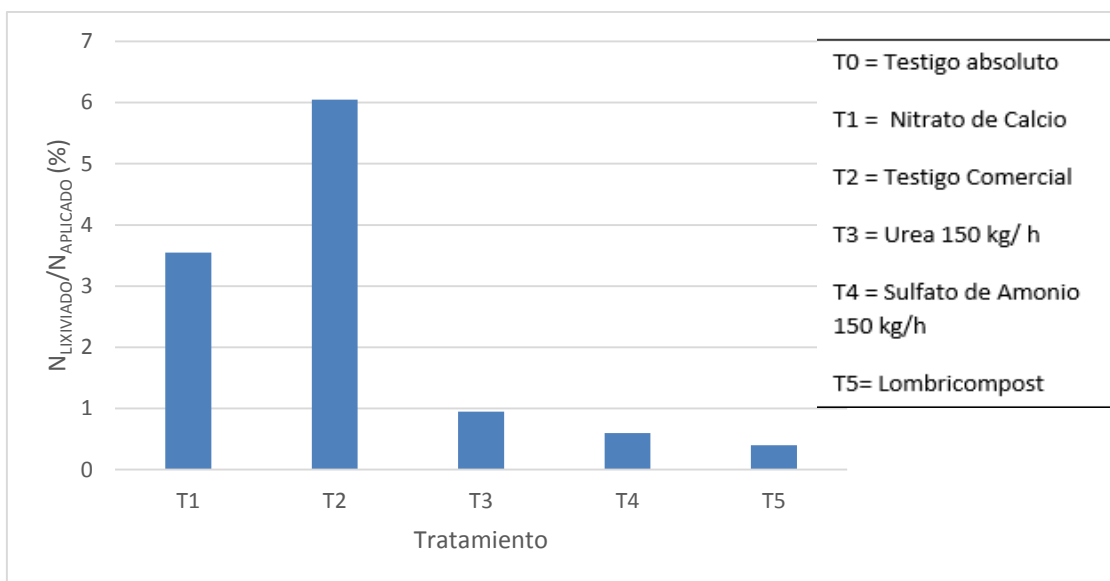


Figura 27. Relación entre el Nitrógeno lixiviado y el Nitrógeno aplicado en plantas de estevia (*Stevia Rebaudiana B*).



7. CONCLUSIONES

Los fertilizantes nitrogenados en el cultivo de Stevia que presentaron un mejor comportamiento fueron los de procedencia orgánica, ya que al presentar lenta liberación generan una disminución en la pérdida de nitrógeno por lixiviación.

Se encontró que la aplicación de fertilizantes de rápida absorción para las plantas se pueden llegar a convertir más fácilmente en un problema ambiental, ya que las plantas, al no poder absorber todo el nutriente mineral disponible, este se pierde por lavados debido a precipitaciones y aplicaciones de láminas de riego, lo cual conlleva a una posterior contaminación de las fuentes hídricas.

Los resultados encontrados en esta investigación pueden ser un instrumento de gran importancia para los pequeños y medianos agricultores de estevia en el Cauca y Valle del Cauca, ya que con el uso de fertilizantes de lenta liberación.

El abono orgánico lombricompost mantuvo el equilibrio entre suministro de nutrientes y conservación de la humedad del suelo, que logró obtener características agronómicas adecuadas, baja pérdida de N por lixiviación y reserva de N en el suelo.



8. RECOMENDACIONES

El coeficiente de cultivo utilizado en esta investigación para la estimación del consumo hídrico de las plantas, con un valor igual a 1.2, sin bien, es aplicable para el cultivo de estevia (*Stevia Rebaudiana Bertoni*), no es un valor único durante todo el ciclo del cultivo, ya que a medida que se produce el desarrollo vegetativo, aumenta el consumo de agua por parte de la planta, siendo el coeficiente mucho mayor con el paso del tiempo en el desarrollo del cultivo. Recomendamos realizar más investigaciones relacionadas con el coeficiente del cultivo durante las diferentes etapas fenológicas de la planta, con el fin de evitar posibles síntomas de estrés hídrico, lo cual conllevaría a una reducción en el desarrollo vegetativo por parte de la planta.

Al construir los lisímetros de drenaje se debe tener en cuenta varias condiciones entre las cuales se destacan tener homogeneidad en el terreno para no provocar vertimiento o pérdida de suelo, generar un gradiente hidráulico entre el lisímetro y el recipiente donde se almacenara el lixiviado esto para no presentar acumulaciones en las mangueras. Gracias a esta investigación se pudo establecer que los lisímetros cumplirían un mejor propósito si en su parte inferior interna se construye de forma cónica y no como la forma convencional que es plana; esto conllevará a un mejor movimiento del agua dentro del lisímetro y se podrá cuantificar mejor la cantidad de agua que se infiltra y no se tendrá pérdidas cuando se desee medir.

Para la época de aplicación de la Urea recubierta su dosis y aplicación se pudo ver afectado en la absorción de N por la planta, al favorecer la inmovilización y reducir su disponibilidad esto se pudo presentar porque no fue suficiente el tiempo en el que se aplicaron los abonos de lenta liberación. Se recomienda dar más tiempo a los abonos de lenta liberación para que el suelo comience hacer el proceso de degradación.



9. BIBLIOGRAFÍA

ABELLÁN M., 2006. Evaluación de impacto ambiental de proyectos y actividades agroforestales. Universidad de Castilla – La Mancha. 632p.

ALFARO, M., SALAZAR, F., ENDRESS, E., DUMONT, J.C. Y VALDEBENITO, A. 2006. Nitrogen leaching losses on a volcanic ash soil as affected by the source of fertiliser. J.Soil Sci.Plant Nutrit. 6(2): 54 – 63.

ALMAGUER, J., 2013. Fertilización Nitrogenada, Impactos sobre los Rendimientos y el Medio Ambiente, Revista Desarrollo Local Sostenible volumen 6 Numero 16.

ARAUZO, M. Y VALLADOLID, M., 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.

BAEZA, P. 1994. La fotosíntesis. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid (España). Recuperado de <http://ocw.upm.es/produccion-vegetal/viticultura/contenidos/Fotosintesisvid.pdf> Fecha de consulta: Marzo 5 de 2015.

BAIRD C., 2001. Química ambiental. Editorial reverté. Barcelona. 648p.

Ballester-Olmos, J.F. 1995. Abonos nitrogenados de liberación lenta. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Disponible en: http://www.larioja.org/npRioja/cache/documents/441698_PDF_Buenas_pr_cticas.pdf;jsessionid=A6C97054E8DFD8699115E7698E312AFC.jvm3. Fecha de consulta: Febrero 18 de 2015

BAREÑO, P. 2006. Hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. Universidad nacional de Colombia: Bogotá. Pp 1-3.

BARRERA, L. 2004. La fertilidad de los suelos de clima frío y la fertilidad de los cultivos. En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. SCCS, Bogotá. 85 p.

BORDA-MOLINA, D., PARDO, J., MARTÍNEZ, M. Y MONTAÑA, J. 2011. Producción de un biofertilizante a partir de un aislamiento de azotobacter nigricans obtenido en un cultivo de estevia rebaudiana. Bert. Universitas Scientiarum 14(1): 71 – 78.



CALDERÓN L., BERNAL A. Y PÉREZ M., 2011. Ensayo preliminar sobre la utilización de un medidor portátil de clorofila para estimar el nitrógeno foliar en orégano (*Origanumvulgare* L.)Volumen 7. Número 2. Páginas 150-165. 2011.

CAMPBELL N. Y REECE J., 2007. Biología. Séptima edición. Editorial medica panamericana. 1250p.

CARRACEDO Y RIVERO, 1999. Efecto del uso de gallinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. Revista Facultad de Agronomía Maracay 25: 83-93.

CARRASCO G., RAMIREZ P., VOGEL H., 2006. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y el contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. IDESIA. Vol 25, N° 2. P. 59-62.

CASACCIA, J; ÁLVAREZ, E. 2006. Recomendaciones técnicas para una producción sustentable del ka'ahe'e (*steviarebaudiana*) en el Paraguay. Ministerio de agricultura y ganadería subsecretaría de estado de agricultura, dirección de investigación agrícola: Caacupe, Paraguay. Pp 9-50.

CASTELLS X., 2012. Energía, agua, medioambiente territorialidad y sostenibilidad. Editorial Díaz de Santos S.A. Madrid. 1010p.

CASTILLO F., ROLDÁN M., PLÁ R., HUERTAS M., CABALLERO F., MORENO C., Y MARTÍNEZ M., 2005. Biotecnología ambiental. Editorial Tébar. Madrid. 616p.

CAYUELA J., FERNÁNDEZ J., MORENO F., MURILLO J. Y CABRERA F., 1994. Estimación de las pérdidas de nitrato en un suelo con cultivo de maíz y riego. Riegos y drenajes 21(75): 30 – 34.

CIFUENTES L. Y PATRICIO C., 1971. Evapotranspiración potencial en lisímetros y ecuaciones empíricas. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica. Santiago de Chile.

CORPOICA, 2011. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Transferencia de Tecnología. Corpoica oferta de eventos sobre Estevia. Mosquera. Cundinamarca. Colombia. Consultado el 3 de septiembre de 2013. <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Foros/ADJUNTO.pdf>

CUERVO, J. 2010. La estevia, con proyección exportadora en Colombia. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá D.C., Colombia.



CURTIS, P.S. Y A. LÄUCHLI. 1986. The role of leafareadevelopment and photosyntheticcapacity in determininggrowth of kenatundermoderatesalt stress. Aust. J. PlantPhysiol. 18, 553-565.

ESTUPIÑAN R, Y QUESADA B., 2010. El proceso de Haber-Bosch en la sociedad agroindustrial: peligros y alternativas.

ALLEN, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Consultado el 23 de febrero de 2013 y disponible en <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

FUSHIWAKI Y, & MAGARA Y., 2005. Water pollution by agriculture and other rural uses, in water quality and standards. Encyclopedia of LifeSupportSystems (EOLSS). Disponible en <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C07/E2-19-04-04.pdf> Consultado el 23 de febrero de 2013

GARCÍA Y SOLANO, 2005. Cría de la lombriz de tierra. Una alternativa ecológica y rentable. Fundación hogares juveniles campesinos. Colombia.

GARCÍA, 2009. Degradación de la fertilidad integral del suelo. En: Seminario Nacional Año de los Suelos en Colombia, El Suelo Importante Recurso para la Continuidad de nuestras generaciones. Bogotá. 10p.

GONZÁLES M., HERNÁNDEZ M., DUPEYRÓN D., RIEUMONT J., RODRÍGUEZ C., CUESTA E. Y SARDIÑA C., 2007. Síntesis y comportamiento de un material polimérico aplicado como recubrimiento en un fertilizante de liberación controlada. Revista Iberoamericana de Polímeros. Liberación de fertilizantes desde hidrogeles. Vol. 8.

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. Disponible en: http://www.consolider-tragua.com/documentos/guia_caracterizacion_edafica.pdf. Fecha de consulta: febrero 18 de 2015.

HIREL, B., TÉTU, T., LEA, P. Y DUBOIS, F. 2011. Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. Sustainability 3: 1452 – 1485.

IDAE, 2007. Ahorro, eficiencia energética y fertilización nitrogenada. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. Madrid, España. Consultado el 27 de febrero de 2013 y disponible en http://www20.gencat.cat/docs/icaen/09_Agricultura,Ramaderia_i_Pesca/documents/arxiu/11_fertilizacion_nitrogenada.pdf

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, IGAC 2006. Métodos Analíticos de laboratorio de suelos.



JÉGO, G., SANCHEZ-PEREZ, J.M. Y JUSTES, E. 2012. Predicting soil water and mineral nitrogen contents with the STICS model for estimating nitrate leaching under agricultural fields. Agri. Water manage. 107: 54 -65

JURADO, J. Y TORRES, V. 2013. Estimación del coeficiente multiplicador © de la evapotranspiración para un cultivo de estevia (*Steviarebaudiana Bertoni*). Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle: Santiago de Cali, Colombia.

LÓPEZ, 2002. Diagnóstico de productores primarios de plantas medicinales, aromáticas y condimentarias del Valle del Cauca. CVC, SAP, Fundacofan, U. San Buenaventura: Cali. Pp 1-6

MARCANO L. Y ELIZALDE G., 2010. Nitrato lixiviado de columnas de suelo sin disturbar, pertenecientes a dos suelos de la cuenca del lago de Valencia. Revista de la facultad de ingeniería U.C.V., 25 (2):pag.

MARIN, G. 2010. Determinación de los requerimientos hídricos del cilantro (*coriandrum sativum*), variedad unapal precoso y su relación con el desarrollo del cultivo, la producción y la calidad, comparando un periodo seco y húmedo de siembra del cultivo en el año. Universidad Nacional de Colombia, facultad de ciencias agropecuarias, Palmira. Pp 71-74.

MORENO G. LÓPEZ M., OLIVEIRA F. Y CUNHA M., 2007. Eficacia de los sistemas agroforestales en el control de la lixiviación de nitrato. Actas de la III reunión sobre sistemas agroforestales.

MUCHOVEJ R. M.; & NEWMAN P. R. 2004. Nitrogen fertilization of sugar cane on sandy soil: II Soil and ground water analyses. Journal American Society Sugar Cane Technologists 24: 225-240.

ORUS F., BELTRAN J., IGUACEL F., Y LOPEZ M., 2011. Fertilización con subproductos orgánicos (hacia una gestión sostenible de los nutrientes en la agricultura). Informaciones técnicas, dirección general de alimentación y fomento agroalimentario. Número 232. 72p.

PARRA M., FERNÁNDEZ R., NAVARRO C. Y ARQUERO O., 2003. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 256p.

PERDOMO C, Y BARBAZÁN M, 2006. Nitrógeno. Área de suelos y aguas, cátedra de fertilidad. Facultad de agronomía. Universidad de la república. Uruguay. 74p.



PINILLA H., 2010. Fertilizantes de liberación lenta. Universidad de la frontera. y Consultado el 3 de diciembre de 2014 y disponible en:

<http://www.fertiagrochile.cl/doc/FERTILIZANTES%20DE%20LIBERACION%20LENTA.pdf>

POSSO, 2009. Cadena productiva de plantas aromáticas, medicinales, condimentarias y aceites esenciales. Secretaria de agricultura y pesca del Valle del Cauca: Cali. Pp 1-6.

ROLDAN Y RAMÍREZ, 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 440p.

SAC, 2006. Incidencia de algunos rubros dentro de los costos de producción agrícola. Revista Nacional de Agricultura No. 947. Consultado el 22 de febrero de 2013 y disponible en: <http://www.sac.org.co/Pages/Revista/947/costos947.pdf>

SADAVA D., PURVES W., HELLER H., ORIAN G. Y HILLIS D., 2009. Vida / Life: La ciencia de la biología / Thescience of biology. Octava edición. Editorial medica panamericana. Madrid, España. 1251p.

SAPIÑA F., 2006. ¿Un futuro sostenible?: El cambio global visto por un científico preocupado. Universidad de Valencia. 162p.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE, SEDAMA, 2010. Evaluación municipal de costos de producción por hectárea. Secretaria de Agricultura y Pesca. Disponible en: www.valledelcauca.gov.co/agricultura/publicaciones.php?id=966 Consultado el 23 de febrero de 2013

SIERRA J. O., 2005. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros. Editorial Universidad de Antioquia. Segunda edición. Medellín, Colombia. 244p.

STEVIA-PARAGUAY., 2014. Como cultivar. Requisitos Agronómicos. Disponible en: <http://www.stevia-paraguay.com/cultivos-stevia.htm> Consultado el 4 de septiembre de 2013

STEWART L.K.; CHARLESWORTH P.B.; BRISTOW K.L. 2006. Estimating deepdrainage and nitrate leaching from the root zone under sugar cane using APSIM-SWIM. Agricultural Water Management 81: 315–334.

THOMPSON L. Y TROEH F., 1988. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Editorial reverté. Barcelona, España. 661p.

URQUIAGA S. Y ZAPATA F., 2000. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. ARCALEMBRAPA. Porto Alegre. Río Grande. Brasil.



VARGAS M., 2013. Manejo ecológico de residuos orgánicos y su aplicación en la fertilización de pasturas. Consultado el 7 de noviembre de 2013 y disponible en: <http://ecologiasocebu.blogspot.com/2013/10/manejo-ecologico-de-residuos-organicos.html>

VELAZCO K., NOGUERA N., JIMÉNEZ L., LARREAL M. & ETTIENE G., 2009. Evaluación de nitritos y nitratos lixiviados en un sistema de pastoreo intensivo usando fertilizantes nitrogenados. Rev. Fac. Agron. v.26 n.1 Caracas mar. 2009

VILLAGRAN A., HUAYAMABE C. Y MALUK O., 2009. Stevia: producción y procesamiento de un endulzante alternativo. Facultad de Economía y Negocios. Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador.

VILLARICA-CAUCA, 2012. Plan de acción territorial para la prevención, atención, asistencia y reparación integral a las víctimas del conflicto armado. Consultado el 13 de agosto de 2014 y disponible en <http://villarica-cauca.gov.co/apc-aa-files/33393334366464303830316132383962/plan-para-la-repacion-de-victimas-del-conflicto.pdf>

WILLIAMS, 2002. Nutrición para la salud, la condición física y el deporte. Editorial Paidotribo, Barcelona. 504p.



10. ANEXOS

ANEXO C. CALIBRACIÓN DEL TANQUE PROTOTIPO

Tabla 6. Valores utilizados de evaporación acumulada para la correlación entre el tanque prototipo y el tanque clase A.

Fecha	Evaporación del tanque Prototipo (mm)	Evaporación del tanque Clase A (mm)
sep-03	6,4	4,5
sep-06	6,9	3,9
sep-10	6,1	4,9
sep-19	4	3,2
sep-25	7,5	7
sep-29	9,6	2,9
oct-04	13,9	3,8
oct-13	6,1	2,4
oct-16	2,4	1,2
oct-17	9,1	2,5
oct-20	5,5	5,5
oct-21	4,2	3,7
oct-22	4,2	3,1
oct-29	5	3
oct-30	5,1	2,3

ANEXO D. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DIARIAS

Tabla 7. Datos diarios de evaporación del tanque prototipo y lámina de agua aplicada.

Fecha	Evaporación del tanque prototipo (mm)	Lámina aplicada (mm)
feb-11	0	0
feb-12	3	97,02
feb-13	3,8	122,892
feb-14	2,2	71,148
feb-15	2,5	80,85
feb-16	3	97,02
feb-17	3	97,02
feb-18	3	97,02
feb-19	2,3	74,382
feb-20	3	97,02
feb-21	2,7	87,318

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITROGENO LIXIVIADO EN EL CULTIVO DE ESTEVIA
(*Stevia Rebaudiana Bertoni*) POR MEDIO DE UN LISÍMETRO DE DRENAJE APLICANDO
FERTILIZANTES NITROGENADOS.



feb-22	1,5	48,51
feb-23	3	97,02
feb-24	3	97,02
feb-25	3	97,02
feb-26	2	64,68
feb-27	2,5	80,85
feb-28	2	64,68
mar-01	2,3	74,382
mar-02	2,4	77,616
mar-03	2,3	74,382
mar-04	1	32,34
mar-05	2,5	80,85
mar-06	2,3	74,382
mar-07	2,3	74,382
mar-08	1,7	54,978
mar-09	2	64,68
mar-10	1,5	48,51
mar-11	2	64,68
mar-12	2,4	77,616
mar-13	1,8	58,212
mar-14	1,5	48,51
mar-15	2,5	80,85
mar-16	2,3	74,382
mar-17	2,7	87,318
mar-18	3,8	122,892
mar-19	2,2	71,148
mar-20	3	97,02
mar-21	4	129,36
mar-22	2	64,68
mar-23	5	161,7
mar-24	3	97,02
mar-25	3	97,02
mar-26	2	64,68
mar-27	2	64,68
mar-28	3	97,02
mar-29	3	97,02
mar-30	4	129,36
mar-31	3	97,02
abr-01	4	129,36
abr-02	3,8	122,892
abr-03	4,2	135,828

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITROGENO LIXIVIADO EN EL CULTIVO DE ESTEVIA
(*Stevia Rebaudiana Bertoni*) POR MEDIO DE UN LISÍMETRO DE DRENAJE APLICANDO
FERTILIZANTES NITROGENADOS.



abr-04	2	64,68
abr-05	3,8	122,892
abr-06	4,1	132,594
abr-07	4,2	135,828
abr-08	3,7	119,658
abr-09	3,2	103,488
abr-10	3,5	113,19
abr-11	4,3	139,062
abr-12	4	129,36
abr-13	3,1	100,254
abr-14	3,1	100,254
abr-15	4	129,36
abr-16	2	64,68
abr-17	3,2	103,488
abr-18	4,2	135,828
abr-19	1,6	51,744
abr-20	2,9	93,786
abr-21	2,6	84,084
abr-22	2,5	80,85
abr-23	3,5	113,19
abr-24	1,5	48,51
abr-25	1,5	48,51
abr-26	2,5	80,85
abr-27	3,2	103,488
abr-28	1,8	58,212
abr-29	2	64,68
abr-30	3	97,02
may-01	5	161,7
may-02	2,2	71,148
may-03	2,6	84,084
may-04	2,3	74,382
may-05	2,7	87,318
may-06	2,8	90,552
may-07	3,4	109,956
may-08	2,5	80,85
may-09	2	64,68
may-10	1,5	48,51
may-11	2,2	71,148
may-12	2,6	84,084
may-13	3,7	119,658
may-14	3,5	113,19



may-15	2	64,68
may-16	2	64,68
may-17	3	97,02
may-18	4,5	145,53
may-19	3	97,02
may-20	2	64,68
may-21	1,3	42,042
may-22	1,2	38,808

ANEXO E. RESULTADO DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS DE LA ESTEVIA

Tabla 8. Resultado de la medición de las variables agronómicas por planta.

Tratamiento	Diámetro Tallo (mm)	Peso Seco (g)	Altura (cm)
T0R1	4	14,2	37
T0R2	4,3	16,8	36
T0R3	4,2	13,1	36
T1R1	3,9	14,2	40
T1R2	3,7	20,6	41
T1R3	3,9	21,9	35
T2R1	5,8	97,2	28
T2R2	6,2	119,1	52
T2R3			
T3R1	3,8	8	31
T3R2	4,4	14,9	39
T3R3	3,5	9,5	29
T4R1	4	21,4	31
T4R2	4,5	14,8	32
T4R3	4,2	9,5	35
T5R1	4,5	25	38
T5R2	3,8	17,4	41
T5R3	3,2	19	34



ANEXO F. RESULTADOS DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Tabla 9. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante.

Tratamiento	Media	Mediana	Varianza	Desv. Estándar
T0	0,85	0,86	0,03	0,16
T1	0,48	0,67	0,44	0,66
T2	0,04	0,05	0,00	0,03
T3	1,23	1,42	1,04	1,02
T4	0,50	0,65	0,33	0,58
T5	1,52	1,52	0,00	0,04

Tabla 10. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante.

Tratamiento	Media	Mediana	Varianza	Desv. Estándar
T0	1,75	1,77	0,11	0,33
T1	1,66	1,69	0,23	0,48
T2	1,18	1,18	0,01	0,11
T3	1,24	1,24	0,01	0,11
T4	2,10	2,11	0,04	0,19
T5	1,87	1,87	0,05	0,22

Tabla 11. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno lixiviado a los 45 días después del trasplante.

Tratamiento	Media	Mediana	Varianza	Desv. Estándar
T0	0,03	0,00	0,00	0,06
T1	0,42	0,55	0,14	0,37
T2	0,03	0,01	0,00	0,05
T3	0,06	0,03	0,01	0,08
T4	0,08	0,06	0,01	0,09
T5	0,05	0,07	0,00	0,05



Tabla 12. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno lixiviado a los 90 días después del trasplante.

Tratamiento	Media	Mediana	Varianza	Desv. Estándar
T0	0,05	0,01	0,01	0,08
T1	0,17	0,17	0,01	0,09
T2	0,03	0,03	0,00	0,07
T3	0,02	0,02	0,00	0,01
T4	0,01	0,00	0,00	0,01
T5	0,01	0,02	0,00	0,01

Tabla 13. Resumen de resultados en estadística descriptiva para el nitrógeno total en suelo.

Tratamiento	Media	Mediana	Varianza	Desv. Estándar
T0	0,42	0,42	0,00	0,01
T1	0,39	0,39	0,01	0,09
T2	0,32	0,32	0,00	0,02
T3	0,24	0,27	0,02	0,13
T4	0,33	0,29	0,02	0,15
T5	0,45	0,45	0,00	0,01

ANEXO G. RESULTADOS DEL ANOVA DE UN FACTOR

Tabla 14. Anova para el nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,062 ^a	5	,412	1,023	,446
Intersección	8,094	1	8,094	20,077	,001
TRATAMIENTO	2,062	5	,412	1,023	,446
Error	4,837	12	,403		
Total	14,994	18			
Total corregida	6,900	17			



Tabla 15. Anova para el nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,034 ^a	5	,207	,392	,845
Intersección	28,703	1	28,703	54,365	,000
TRATAMIENTO	1,034	5	,207	,392	,845
Error	6,336	12	,528		
Total	36,073	18			
Total corregida	7,370	17			

Tabla 16. Anova para el nitrógeno lixiviado a los 45 días después del trasplante.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,337 ^a	5	,067	2,552	,085
Intersección	,229	1	,229	8,665	,012
TRATAMIENTO	,337	5	,067	2,552	,085
Error	,317	12	,026		
Total	,883	18			
Total corregida	,654	17			

Tabla 17. Anova para el nitrógeno lixiviado a los 90 días después del trasplante.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,069 ^a	5	,014	4,192	,020
Intersección	,057	1	,057	17,290	,001
TRATAMIENTO	,069	5	,014	4,192	,020
Error	,039	12	,003		
Total	,165	18			
Total corregida	,108	17			



Tabla 18. Anova para el nitrógeno total en suelo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,050 ^a	5	,010	,403	,838
Intersección	1,775	1	1,775	72,243	,000
TRATAMIENTO	,050	5	,010	,403	,838
Error	,295	12	,025		
Total	2,120	18			
Total corregida	,344	17			

ANEXO H. RESULTADOS DE LA PRUEBA TUKEY

Tabla 19. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno foliar a los 45 días después del trasplante.

TRATAMIENTO	N	Subconjunto
		1
T2	3	,0467
T4	3	,4500
T1	3	,6767
T0	3	,8567
T3	3	,9633
T5	3	1,0300
Sig.		,448

Tabla 20. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno foliar a los 90 días después del trasplante.

TRATAMIENTO	N	Subconjunto
		1
T2	3	,9000
T3	3	1,0633
T5	3	1,2967
T0	3	1,3000
T1	3	1,3500



T4	3	1,6667
Sig.		,784

Tabla 21. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno lixiviado a los 45 días después del trasplante.

TRATAMIENTO	N	Subconjunto
		1
T0	3	,0333
T2	3	,0333
T5	3	,0533
T3	3	,0600
T4	3	,0800
T1	3	,4167
Sig.		,108

Tabla 22. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno lixiviado a los 90 días después del trasplante.

TRATAMIENTO	N	Subconjunto	
		1	2
T4	3	,0067	
T5	3	,0133	
T3	3	,0167	
T0	3	,0533	,0533
T2	3	,0600	,0600
T1	3		,1867
Sig.		,855	,115

Tabla 23. Resultados de la prueba Tukey para el nitrógeno total en suelo.

TRATAMIENTO	N	Subconjunto
		1
T2	3	,2487
T3	3	,2590
T0	3	,2917
T5	3	,3373
T4	3	,3513
T1	3	,3963



Sig.		,850
------	--	------

Tabla 24. Volumen lixiviado a los 45 días después de la siembra

Tratamiento	Repetición	Primera recolección (ml)
T0	R1	178
	R2	7
	R3	265
T1	R1	210
	R2	110
	R3	145
T2	R1	1000
	R2	2550
	R3	2350
T3	R1	140
	R2	363
	R3	397
T4	R1	200
	R2	394
	R3	260
T5	R1	140
	R2	236
	R3	415

Tabla 25. Volumen lixiviado a los 90 días después de la siembra

Tratamiento	Repetición	Segunda recolección (ml)
T0	R1	0
	R2	30
	R3	458
T1	R1	72
	R2	137
	R3	106
T2	R1	1010
	R2	1090
	R3	1084
T3	R1	430
	R2	246
	R3	438
T4	R1	80

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE NITROGENO LIXIVIADO EN EL CULTIVO DE ESTEVIA
(*Stevia Rebaudiana Bertoni*) POR MEDIO DE UN LISÍMETRO DE DRENAJE APLICANDO
FERTILIZANTES NITROGENADOS.



T5	R2	0
	R3	0
	R1	104
	R2	118
	R3	0