

PERDIDA DE NUTRIENTES POR LIXIVIACIÓN EMPLEANDO UN FERTILIZANTE ORGANOMINERAL COMPARADO CON UN FERTILIZANTE MINERAL.*Yined Paola Giraldo, ¹Gladis E. Morales Mira, ✉ ²M. Liliana Acevedo Betancourth.*

¹Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de Medellín. Carrera 87 N° 30 – 65, Medellín – Colombia

²Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia Cl. 67 #53-108, Medellín, Colombia ✉ gmorales@udemedellin.edu.co

Palabras claves: fertilizante de oclusión, liberación controlada, dosis, compost, cinética controlada.

RESUMEN

Se sabe que los fertilizantes organominerales tienen la capacidad de retener nutrientes cargados positivamente ya que ellos realizan un intercambio catiónico con dichos iones, como lo es el ion amonio, para luego liberarlo lentamente a medida que lo requiere el cultivo; a este tipo de sistema se le denomina fertilizante ocluido. Se emplea una metodología simple y rápida que permite realizar dicha evaluación, utilizando un sistema de jeringa al cual se le adaptan las condiciones de campo que requiere un cultivo, y por medio de una cinética se evalúa el nitrógeno liberado. Considerando las condiciones registradas en la literatura para un cultivo como el Ají (*Capsicum annum*): 200 kg N/ha, 176 kgP₂O₅/ha y 300kgK₂O/ha, se adaptó al sistema propuesto, aplicando fertilizante mineral solo y dopando con diferentes cantidades de compost. Se plantearon cinco sistemas con 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 g de compost y la misma cantidad de fertilizante mineral, de esta manera se estimó cual es la concentración óptima de compost que debe soportar el fertilizante para que disminuya la lixiviación de los nutrientes; encontrando que la concentración de 0.5 a 1.0 g de compost es el ideal para retener el nutriente que proviene del fertilizante mineral.

LOSS OF NUTRIENTS DUE TO LEACHING USING AN ORGANOMINERAL FERTILIZER COMPARED TO A MINERAL FERTILIZER.

Keywords: occlusion fertilizer, controlled release, dosage, compost, controlled kinetics.

ABSTRACT

It is known that organo-mineral fertilizers have the capacity to retain positively charged nutrients since they perform a cation exchange with these ions, such as the ammonium ion, and then release it slowly as the crop requires it; this type of system is called occluded fertilizer. A simple and fast methodology is used to perform this evaluation, using a syringe system adapted to the field conditions required by a crop, and by means of kinetics the nitrogen released is evaluated. Considering the conditions recorded in the literature for a crop such as chili (*Capsicum annum*): 200 kg N/ha, 176 kgP₂O₅/ha and 300kgK₂O/ha, it was adapted to the proposed system, applying mineral fertilizer alone and doping with different amounts of compost. Five systems were proposed with 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 g of compost and the same amount of mineral fertilizer, in this way it was estimated which is the optimum concentration of compost that the fertilizer should support in order to reduce the leaching of nutrients; finding that the concentration of 0.5 to 1.0 g of compost is the ideal to retain the nutrient that comes from the mineral fertilizer.

Rec : 30/11/2022

Acep : 12/12/2022

Introducción

Para alcanzar el máximo potencial productivo de un cultivo, se requiere la implementación oportuna de prácticas tendientes a disminuir la incertidumbre generada por los recursos que el ecosistema no alcanza a suplir con suficiencia (Sadeghian et al. 2015); por tal motivo, en la agricultura se llevan a cabo prácticas como la fertilización. Teniendo esto en cuenta, es de suma importancia conocer los balances nutricionales de los cultivos, pero si bien eso es correcto, existen formas de pérdida de nutrientes que habitualmente no son contempladas, por ejemplo, las pérdidas por lixiviación (Irrutia et al. 2004).

La lixiviación de nutrientes, entendida como el desplazamiento de iones en solución por debajo de la zona de raíces del cultivo, constituye uno de los aspectos de especial atención en el ámbito mundial, pues además de disminuirse la eficiencia en el aprovechamiento de los cultivos, se incrementa el riesgo de contaminación de aguas y los costos de producción (Sadeghian et al. 2015). No obstante, a pesar de que la lixiviación es un fenómeno natural que ocurre en cualquier tipo de suelo, los riesgos aumentan cuando se llevan a cabo prácticas de fertilización poco controladas, de allí la importancia de implementar estrategias y prácticas que los minimicen.

El compost es una rica fuente de materia orgánica, una sustancia vital; además de ser una fuente de nutrientes para las plantas, mejora las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015). La materia orgánica tiene una carga superficial negativa, lo cual expresado en términos de capacidad de intercambio catiónico (CIC), es la capacidad que tiene un suelo para retener iones positivos como lo es el amonio (NH_4^+) y liberarlos a medida que el sistema lo requiera.

En el presente trabajo se emplea una metodología que nos permite evaluar las

pérdidas por lixiviación de nitrógeno (N), nutriente propio en un fertilizante, acondicionando el sistema para un cultivo específico como el de ají (*Capsicum annuum*). Se prepararon diferentes formulaciones, donde se mantuvo constante la dosis del fertilizante mineral que aporta 200 kg N/ha, 176 kgP₂O₅/ha 300kgK₂O/ha al cultivo; empleando el fertilizante sólo (cero aporte de compost) y mezclas con 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 g de compost, adicionalmente se empleó un fertilizante organomineral (30:70), y se procedió a comparar la lixiviación del N, el cual se calculó a partir del amonio lixiviado, donde se pudo observar como el compost juega un papel importante en la reducción de dichas pérdidas.

Materiales y Métodos

Inicialmente se establece el tipo de cultivo al cual se desea adaptar el sistema y aplicar la metodología descrita a continuación. Para el caso del ají, se conoce que su requerimiento nutricional es de 200 kg N/ha, 176 kg P₂O₅/ha 300kg K₂O/ha y a partir de esto se realiza el montaje de la siguiente manera:

1. Se instala el sistema de jeringas compuesto por un soporte donde se sostienen los tubos con pinzas, una manguera y una llave de paso (ver figura 1).
2. Se sella la punta del tubo de jeringa con algodón para evitar que los sólidos pasen a través del agujero y garantizar solo el paso del lixiviado.
3. Se adiciona un soporte inerte: 64 gramos de arena al cual se realizan lavados con agua destilada para eliminar los iones que puedan estar presentes.
4. Teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales del cultivo a condiciones de campo, se establece la dosis adecuada de fertilizante mineral y organomineral para nuestro sistema: 0.0697 g (Se calcula de acuerdo con la dosificación en campo adaptándola al área superficial de la jeringa de 60 mL empleada para este ensayo)

5. Al primer sistema se le adiciona solo la dosis de fertilizante organomineral y al segundo solo la dosis de fertilizante mineral.
6. Posteriormente, y con el objetivo de evaluar el comportamiento y la concentración óptima de compost que soporta el fertilizante mineral, se realizan cuatro montajes cada uno con 0.0697 g del fertilizante + 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 g de compost respectivamente.
7. Teniendo en cuenta que el compost por si solo representa un aporte de nutrientes por su alto contenido de materia orgánica, se realizan cuatro montajes más donde solo se adicionan las dosis de compost ya mencionadas sin fertilizante, de forma tal que al resultado final se le pueda restar el aporte de nutrientes proveniente del compost.
8. Para cada sistema por separado, se adicionan 10 mL de agua destilada, se deja en contacto por 5 minutos y luego se recibe el lixiviado gota a gota a través de la manguera con una tasa de retención de aproximadamente 1.30 minutos.
9. Se realiza este proceso 10 veces, para obtener un total de 10 muestras por tratamiento.
10. Finalmente, se procede a realizar los análisis correspondientes a cada una de las muestras para determinar el contenido de nutrientes que fueron arrastrados por el agua.

Figura 1. Montaje del sistema de jeringas



Resultados y discusión

El análisis de amonio se realizó por espectroscopia UV-Vis, y su cuantificación se llevó a cabo empleando una curva de calibración con estándares de 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, y 5.0 ppm preparados a partir de una solución patrón de amonio de 100 ppm, las

cuales se prepararon al momento de hacer la lectura de muestras y se trataron con tartrato de sodio y potasio y el Reactivo de Nessler, se dejaron en reposo 5 minutos, para luego proceder a leer la absorbancia a una longitud de onda de 425 nm. En la siguiente tabla se registran los resultados para el amonio.

Tabla 1. Seguimiento a la lixiviación

Fertilizante Mineral			
Vol (mL)	Tiempo (min)	N (g)	% lixiviación
10	6,22	2,1403E-05	1,35
20	13,02	0,00064897	40,90
30	19,19	0,00042872	27,02
40	26,05	0,00017937	11,30
50	32,25	9,1039E-05	5,74
60	39,05	6,7249E-05	4,24
70	45,23	4,911E-05	3,09
80	51,6	3,8379E-05	2,42
90	58,02	3,3464E-05	2,11
100	65,03	2,9149E-05	1,83693459

Mezcla Fertilizante Mineral+0.5 g de compost			
Vol (mL)	Tiempo (min)	N (g)	% lixiviación
10	6,18	5,8586E-06	1,03
20	12,5	0,00016577	29,06
30	19,21	0,00023665	41,49
40	26,01	0,00010331	18,11
50	32,35	3,2727E-05	5,74
60	39,12	5,6566E-06	0,99
70	45,37	4,6465E-06	0,81
80	52,1	7,6768E-06	1,35
90	58,4	5,4545E-06	0,96
10	65,16	2,6263E-06	0,46

Mezcla Fertilizante Mineral+1.0 g de compost			
Vol (mL)	Tiempo (min)	N (g)	% lixiviación
10	6,28	1,5866E-06	0,13
20	13,04	0,00027744	23,39
30	19,36	0,00043936	37,04
40	26,11	0,00032133	27,09
50	32,38	7,6018E-05	6,41
60	39,04	2,7836E-05	2,35
70	45,34	1,9711E-05	1,66
80	52,04	8,3056E-06	0,70
90	58,29	8,905E-06	0,75
100	65,02	5,7189E-06	0,48

Órgano mineral 30:70			
Vol (mL)	Tiempo (min)	N (g)	% lixiviación
10	6,27	2,4342E-05	5,01
20	13,03	8,9387E-05	18,40
30	19,42	8,962E-05	18,45
40	26,12	6,5706E-05	13,52
50	32,44	4,9541E-05	10,20
60	39,14	4,1536E-05	8,55
70	45,4	3,6496E-05	7,51
80	52,11	3,6564E-05	7,53
90	58,51	2,9605E-05	6,09
100	65,17	2,3039E-05	4,74

Mezcla Fertilizante Mineral+1.5 g de compost			
Vol (mL)	Tiempo (min)	N (g)	% lixiviación
10	6,31	1,54898E-05	1,82
20	13,02	0,000151831	17,86
30	19,38	0,000448793	52,80
40	26,12	8,57484E-05	10,09
50	32,45	5,72161E-05	6,74
60	39,14	3,38784E-05	3,98
70	45,41	2,22932E-05	2,62
80	52,17	1,65961E-05	1,95
90	58,48	9,63313E-06	1,13
100	65,25	8,51925E-06	1,00

Mezcla Fertilizante Mineral+2.0 g de compost			
Vol (mL)	Tiempo (min)	N (g)	% lixiviación
10	6,21	8,16948E-06	0,67
20	12,48	0,000245281	20,07
30	19,22	0,000552659	45,22
40	26,05	0,00024694	20,20
50	32,19	8,76117E-05	7,17
60	38,59	2,95622E-05	2,42
70	45,3	1,63951E-05	1,34
80	52,25	1,67223E-05	1,37
90	59,03	1,25392E-05	1,02
100	65,37	6,35785E-06	0,52

En la siguiente gráfica se ilustra la lixiviación de los nutrientes en cuatro de los sistemas siguiendo el nitrógeno liberado,

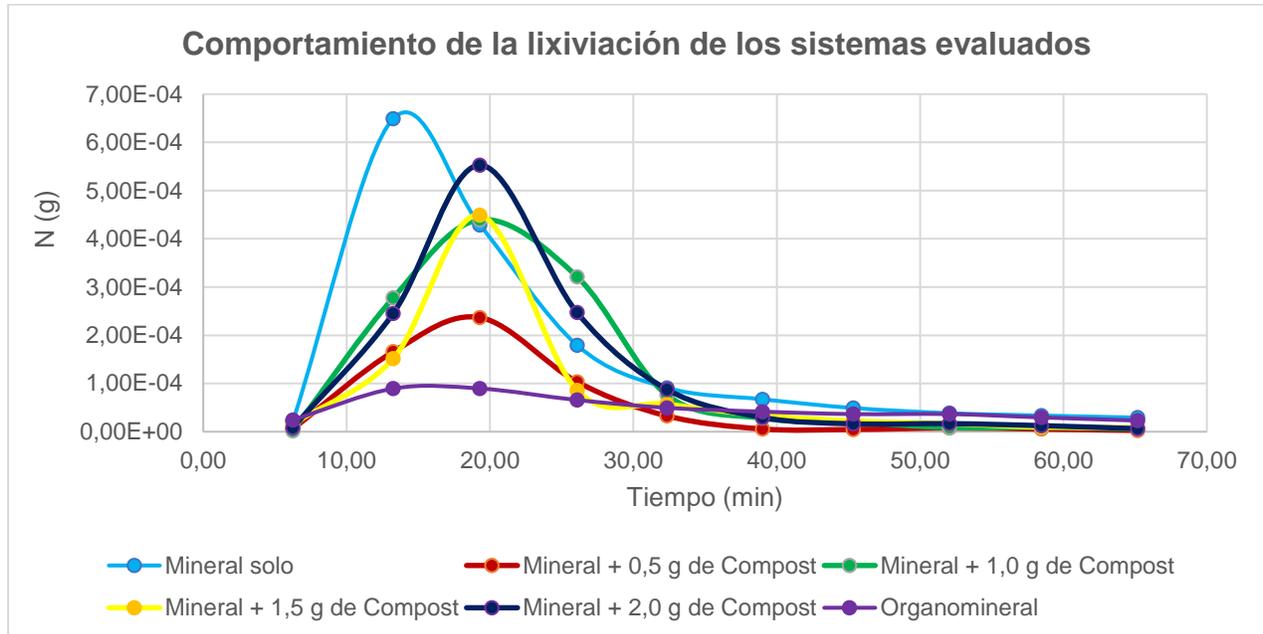


Gráfico 1, Cinética de lixiviación del Nitrógeno (fuente propia)

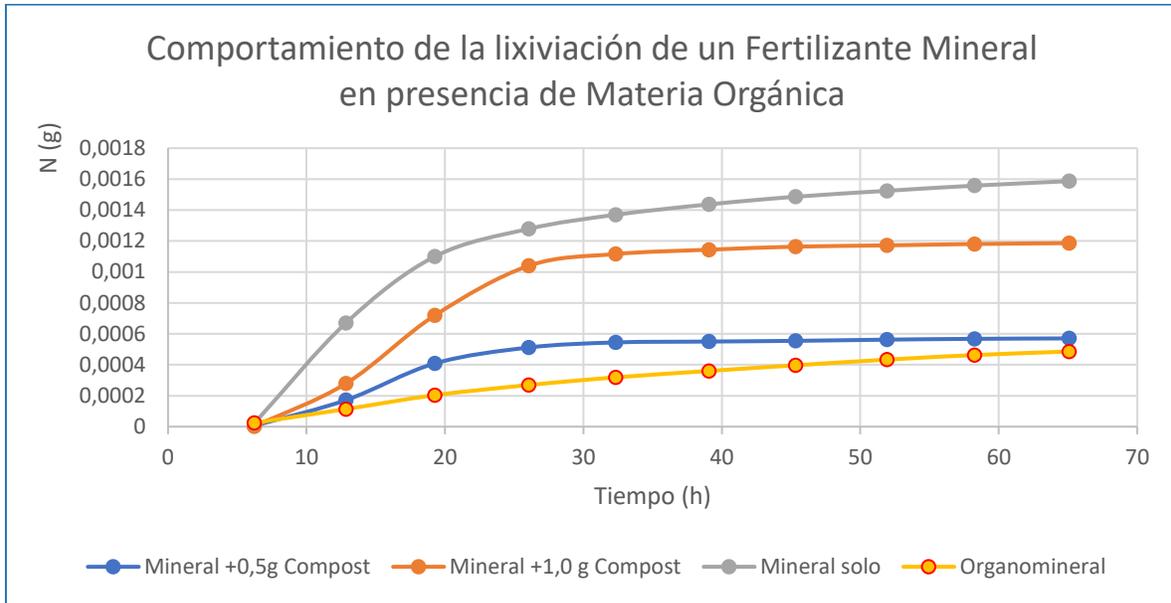
Siguiendo el Nitrógeno liberado, se observa que el Fertilizante Mineral presenta su máxima liberación de nutrientes al medio aproximadamente a los 12 minutos (20 mL de solvente agregado) y el fertilizante Mineral mezclado con compost presenta su máxima liberación de nutrientes aproximadamente los 18 minutos de haber iniciado la cinética (que corresponde cuando se han agregado 30 mL de agua); mientras que el fertilizante organomineral presenta una liberación más lenta y controlada,

Sabiendo que luego de agregar 20 mL de agua ya se ha lixiviado aproximadamente el 40% de N presente en el fertilizante mineral se puede recomendar un volumen agua de riego para diferentes tamaños de macetas, por ejemplo, para el cultivo de ají se recomienda una maceta de 10 litros y una carga de fertilizante Mineral de 8 g aproximadamente, así que el 40% de lixiviado se alcanzaría al agregar un volumen de 180 mL aproximadamente, Por tal motivo se recomienda un volumen de riego menor

para que los nutrientes sean retenidos mayor tiempo,

Para la mezcla de Fertilizante mineral + 0,5 g compost (12:88, de FM:Compost), y para el fertilizante Organomineral (30:70), se requirió 30 mL para alcanzar el % máximo de lixiviación que corresponde a 41,5% y 18,5% respectivamente; por tanto, para el caso de ají en maceta de 10 litros se requiere agregar un volumen aproximado de 260 mL para alcanzar dicha lixiviación, de ahí que regar con menor volumen retendría notoriamente el nutriente y favorecería al cultivo,

Para analizar la velocidad de entrega de nutrientes se siguió la liberación acumulada del nitrógeno la cual se puede observar en el siguiente gráfico. Se descartaron los ensayo correspondientes a las mezclas de 1,5 y 2,0 g de compost debido a comportamiento similar a la mezcla de 1,0 g de compost, lo cual lleva a la conclusión que no aplican para el propósito del ensayo, (ver gráfica 1),

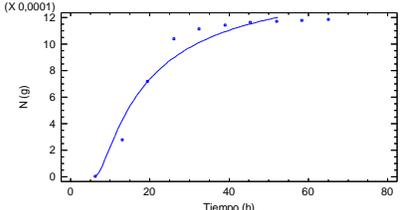
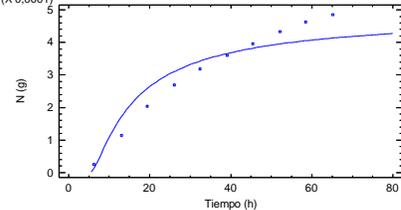


Gráfica 2, Cinética de lixiviación de nitrógeno Acumulado en el tiempo

Para evaluar la velocidad se procedió a aplicar un Análisis de regresión empelando el Statgraphics Centurion, y se encontró que los sistemas se adaptan al modelo estadístico Square root-Y reciprocal-X model: $Y = (a + b/X)^2$, Los resultados se registran en la siguiente Tabla,

Tabla 2, Análisis de regresión para los sistemas seleccionados

<p>Fertilizante solo</p> <p>$N (g) = (0,044256 - 0,242665/Tiempo)^2$</p>	<p>Analysis of Variance</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>Sum of Squares</th> <th>Df</th> <th>Mean Square</th> <th>F-Ratio</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>0,00105417</td> <td>1</td> <td>0,00105417</td> <td>1752,34</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>Residual</td> <td>0,00000481262</td> <td>8</td> <td>6,01578E-7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total (Corr,)</td> <td>0,00105898</td> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Correlation Coefficient = -0,997725 R-squared = 99,5455 percent</p>	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value	Model	0,00105417	1	0,00105417	1752,34	0,0000	Residual	0,00000481262	8	6,01578E-7			Total (Corr,)	0,00105898	9			
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value																				
Model	0,00105417	1	0,00105417	1752,34	0,0000																				
Residual	0,00000481262	8	6,01578E-7																						
Total (Corr,)	0,00105898	9																							
<p>Mezcla de Fertilizante + 0,5 g compost</p>	<p>Analysis of Variance</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>Sum of Squares</th> <th>Df</th> <th>Mean Square</th> <th>F-Ratio</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>0,000434061</td> <td>1</td> <td>0,000434061</td> <td>403,54</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>Residual</td> <td>0,0000086051</td> <td>8</td> <td>0,0000010756</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total (Corr,)</td> <td>0,000442666</td> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value	Model	0,000434061	1	0,000434061	403,54	0,0000	Residual	0,0000086051	8	0,0000010756			Total (Corr,)	0,000442666	9			
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value																				
Model	0,000434061	1	0,000434061	403,54	0,0000																				
Residual	0,0000086051	8	0,0000010756																						
Total (Corr,)	0,000442666	9																							

$N(g) = (0,027119 - 0,153704/Tiempo)^2$	Correlation Coefficient = -0,990233 R-squared = 98,0561 percent																								
<p>Mezcla de Fertilizante + 1 g de compost</p> <p>Cinética de Lixiviación empleando Mezcla de Fertilizante Mineral + 1.0 g Compos</p>  $N(g) = (0,0393278 - 0,245325/Tiempo)^2$	<p>Analysis of Variance</p> <table border="1" data-bbox="656 390 1416 667"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>Sum of Squares</th> <th>Df</th> <th>Mean Square</th> <th>F-Ratio</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>0,00105673</td> <td>1</td> <td>0,00105673</td> <td>322,55</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>Residual</td> <td>0,0000262092</td> <td>8</td> <td>0,00000327615</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total (Corr,)</td> <td>0,00108294</td> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Correlation Coefficient = -0,987825 R-squared = 97,5798 percent</p>	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value	Model	0,00105673	1	0,00105673	322,55	0,0000	Residual	0,0000262092	8	0,00000327615			Total (Corr,)	0,00108294	9			
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value																				
Model	0,00105673	1	0,00105673	322,55	0,0000																				
Residual	0,0000262092	8	0,00000327615																						
Total (Corr,)	0,00108294	9																							
<p>Fertilizante órgano mineral (30:70)</p> <p>Cinética de Lixiviación empleando un Fertilizante Organo mineral (30:70)</p>  $N(g) = (0,0221331 - 0,118323/Tiempo)^2$	<p>Analysis of Variance</p> <table border="1" data-bbox="656 816 1416 1026"> <thead> <tr> <th>Source</th> <th>Sum of Squares</th> <th>Df</th> <th>Mean Square</th> <th>F-Ratio</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Model</td> <td>0,000246838</td> <td>1</td> <td>0,000246838</td> <td>101,15</td> <td>0,0000</td> </tr> <tr> <td>Residual</td> <td>0,000019523</td> <td>8</td> <td>0,00000244037</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total (Corr,)</td> <td>0,000266361</td> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Correlation Coefficient = -0,962655 R-squared = 92,6705 percent</p>	Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value	Model	0,000246838	1	0,000246838	101,15	0,0000	Residual	0,000019523	8	0,00000244037			Total (Corr,)	0,000266361	9			
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value																				
Model	0,000246838	1	0,000246838	101,15	0,0000																				
Residual	0,000019523	8	0,00000244037																						
Total (Corr,)	0,000266361	9																							

De acuerdo con lo anterior, la materia orgánica se comporta como un fertilizante de oclusión, es decir, de liberación lenta del nutriente para el caso particular el Nitrógeno (N) en forma de amonio (NH₄⁺), ya que al comparar las pendientes del fertilizante mineral y la mezcla de fertilizante mineral con 1,0 g de compost presentan una pendiente de 0,24 aproximadamente, lo que indica un comportamiento similar, pero al disminuir la materia orgánica como en el caso del fertilizante mineral mezclado con 0,5 g de Compost, la velocidad de entrega de nutrientes disminuye un 37,5%, Por otro lado, al emplear la misma cantidad de fertilizante organomineral con una formulación 30:70 (MO:Fertilizante) la

velocidad de entrega de nutrientes disminuye aproximadamente en 52% ,

En conclusión, pequeñas cantidades de materia orgánica tienen la capacidad de retener los nutrientes impidiendo su lixiviación, ya que los fertilizantes de oclusión inmovilizan los nutrientes, prolongando el tiempo de entrega de estos y por lo tanto su disponibilidad en el sistema (Redagricola, 2017),

Al no existir materia orgánica, la retención de nutrientes se ve limitada; por el contrario, cuando un suelo tiene una buena estructura y materia orgánica (carga superficial negativa), este tiene la capacidad de retener iones positivos como el amonio (NH₄⁺); es decir, ante la ausencia de compost, los

nutrientes son desplazados por el agua a una mayor velocidad, por lo que el cultivo no podría absorber los nutrientes de forma eficaz, provocando desequilibrios en su desarrollo,

Reconocimientos

Agradecimiento a Minciencias por la financiación del proyecto,

Referencias

Edalife, (enero 11, 2021), La pérdida de nutrientes en el suelo y su solución: la mejora de la disponibilidad, <https://www.edalife.es/>

Hicks, P, (mayo 15, 2017), Conozca todo sobre la CIC, Agua y Suelo para la Agricultura, <https://asa.crs.org/blog/>

Irurtia, C., Rivero, E., & Michelena, R, (2004), Pérdidas de nutrientes por lixiviación y escurrimiento en siembra directa,

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2015), Obtenido de [fao.org: https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/281085/](https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/281085/)

Sadeghian, S., González, H., & Arias, E, (2015), Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera: Prácticas que ayudan a reducirla,

Tortosa, G, (marzo 3, 2015), El compost reduce la erosión y pérdida de nutrientes en suelos, Compostando ciencia, <http://www.compostandociencia.com/>

Redagricola, (abril 20, 2017), Fertilizantes de liberación lenta, controlada y estabilizados, <https://www.redagricola.com/co/>