

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN POLIMERO PARA LA REMOCIÓN DE  
AMONIO, EN AGUAS PROVENIENTES DEL LAVADO DE UN SUELO  
CONTAMINADO POR GLIFOSATO**

**NATALIA ANDREA ORTIZ ESTEVEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGIENERIA**

**FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BUCARAMANGA**

**2020**

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN POLIMERO PARA LA REMOCIÓN DE  
AMONIO, EN AGUAS PROVENIENTES DEL LAVADO DE UN SUELO  
CONTAMINADO POR GLIFOSATO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**NATALIA ANDREA ORTIZ ESTEVEZ**

**M.Sc. Angélica María Muskus Morales**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGIENERIA**

**FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BUCARAMANGA**

**2020**

## *Agradecimientos*

Quiero agradecer a mis padres por su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera, a mi hermano por siempre ser mi ejemplo profesional, a mis compañeros de estudio, amigos y ahora colegas por ser parte de grandes experiencias, a aquellos docentes que me incentivaron a ser mejor cada día y formarme como una profesional. A Dios que me ha guiado en mi camino y me ha ayudado a enfrentar grandes obstáculos en esta pandemia.

A todos los trabajadores de jardinería por su amabilidad, apoyo y cuidado en el montaje experimental, en especial al señor Alonso por su creatividad y linda energía cada mañana de muestreo además de que siempre estuvo presente desde el semillero de investigación con este proyecto.

A mi docente y directora de proyecto Angelica Muskus, la cual admiro por su formación profesional y moral, por confiar en mi este proyecto de investigación y por su apoyo en todo este tiempo.

Al coro UPB por ser ese espacio tan importante y una de mis mejores experiencias en toda mi carrera, por permitirme sentir pertenencia y orgullo de una coral tan maravillosa, diligente y llena de personas con cualidades y talentos increíbles. Y sobre todo por hacerme creer que se puede llegar muy lejos con pequeñas cosas.

Finalmente, dedicar este proyecto a mi linda mamá que desde pequeña ha creído en mí y a mi mascota Max que desde el cielo me acompaña.

## Tabla de contenido

Resumen .....	11
Abstract .....	12
1. Introducción .....	13
2. Objetivos .....	15
2.1. Objetivo general .....	15
2.2. Objetivos específicos .....	15
3. Marco Teórico .....	16
3.1. Formación del suelo.....	17
3.1.1. Componentes del Suelo.....	18
3.1.2. Perfil de un suelo.....	19
3.1.3. Cómo los suelos abastecen nutrientes a las plantas.....	19
3.1.4. Características físico químicas y bioorgánicas del suelo. ....	21
3.2. Agroquímicos y pesticidas en suelos.....	25
3.3. Relación glifosato como herbicida y el polímero como estabilizador.....	26
3.3.1. El herbicida glifosato.....	26
3.3.2. Polímero. ....	33
4. Metodología .....	35
4.1. Diseño experimental .....	37
4.2. Montaje experimental .....	38

4.3.	Descripción del montaje experimental .....	39
4.4.	Diseño del montaje .....	40
4.5.	Diseño de los filtros y aplicación del polímero .....	42
4.6.	Sistema de recolección .....	43
4.7.	Seguimiento del montaje experimental .....	44
5.	Resultados .....	45
5.1.	Determinación propiedades físicas iniciales y finales del suelo en estudio .....	45
5.2.	Textura por el método de Bouyoucos .....	46
5.3.	Tablas de resultados: Textura por el método de Bouyoucos .....	48
5.3.1.	Densidad real .....	48
5.3.2.	Humedad gravimétrica .....	51
5.4.	Determinación propiedades químicas .....	55
5.4.1.	Conductividad eléctrica .....	55
5.4.2.	Análisis del pH .....	57
5.4.3.	Análisis Microbiológicos .....	59
5.4.4.	Análisis de materia orgánica .....	66
5.5.	Parámetros de seguimiento .....	67
5.5.1.	Conductividad .....	67
5.5.2.	Propiedad química pH .....	71
5.5.3.	Oxígeno Disuelto .....	75

5.5.4. Tomas graficas Amonio y Nitrato.....	79
6. Resultados de porcentaje de remoción.....	85
7. Conclusiones .....	94
8. Bibliografía .....	97

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Propiedades Físicas. ....	36
<b>Tabla 2.</b> Propiedades Químicas. ....	36
<b>Tabla 3.</b> Características Bioorgánicas del suelo. ....	36
<b>Tabla 4.</b> Sistema 1: Suelo Arenoso.....	38
<b>Tabla 5.</b> Sistema 2: Materia orgánica.....	38
<b>Tabla 6.</b> Sistema 3: Suelo Arenoso + Materia orgánica.....	38
<b>Tabla 7.</b> Determinación método de Bouyoucos inicial del sistema 3.....	47
<b>Tabla 7.1</b> Determinación método de Bouyoucos inicial del sistema 3.....	48
<b>Tabla 7.2</b> Determinación método de Bouyoucos final del sistema 3.....	48
<b>Tabla 8.</b> Densidad real inicial.....	49
<b>Tabla 9.</b> Densidad Real Final. ....	49
<b>Tabla 10.</b> Densidad real inicial.....	50
<b>Tabla 11.</b> Densidad Real Final. ....	50
<b>Tabla 12.</b> Densidad real inicial.....	51
<b>Tabla 13.</b> Densidad Real Final.....	51
<b>Tabla 14.</b> Humedad gravimétrica inicial Arena.....	52
<b>Tabla 15.</b> Humedad gravimétrica Final Arena.....	52
<b>Tabla 16.</b> Humedad gravimétrica inicial Compost.....	53
<b>Tabla 17.</b> Humedad gravimétrica Final Compost.....	53
<b>Tabla 18.</b> Humedad gravimétrica inicial Arena+Compost.....	54
<b>Tabla 19.</b> Humedad gravimétrica Final Arena+Compost.....	54
<b>Tabla 20.</b> Conductividad inicial y final arena.....	55

<b>Tabla 21.</b> Conductividad inicial y final compost (sistema 2).....	56
<b>Tabla 22.</b> Conductividad inicial y final arena+ compost.....	56
<b>Tabla 23.</b> pH inicial y final Arena .....	57
<b>Tabla 24.</b> pH inicial y final compost .....	58
<b>Tabla 25.</b> pH inicial y final Arena + compost .....	59
<b>Tabla 26.</b> Procedimiento de microorganismos Inicial de muestra de compost y la muestra de Suelo Arenoso.....	61
<b>Tabla 27.</b> Procedimiento de microorganismos finales de la muestra de compost y la muestra de Suelo arenoso .....	62
<b>Tabla 28.</b> Procedimiento de microorganismos al finalizar de la muestra de compost + glifosato, arena + glifosato, arena+compost+glifosato .....	63
<b>Tabla 29.</b> Procedimiento de microorganismos al finalizar de la muestra de compost +arena+ glifosato + NH <sub>4</sub> , compost+glifosato+ NH <sub>4</sub> , arena + glifosato+ NH <sub>4</sub> .....	64
<b>Tabla 30.</b> Procedimiento de microorganismos al finalizar de la muestra de compost+ arena+ glifosato+NH <sub>4</sub> +polímero, Compost+glifosato+NH <sub>4</sub> +polímero, arena+glifosato+NH <sub>4</sub> +polimero .....	64
<b>Tabla 31.</b> Materia orgánica inicial de la muestra de Suelo arenoso, compost y suelo+compost.....	66
<b>Tabla 32.</b> Materia orgánica suelo Finales.....	78

## Lista de Figuras

Figura 1. Textura del suelo.....	18
Figura 2. Proceso de degradación de una roca .....	18
Figura 3. Perfil de un Suelo.....	19
Figura 4. Nutrientes necesarios para las plantas.....	20
Figura 5. pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.....	21
Figura 6. Formula del glifosato .....	26
Figura 7. Propiedades fisicoquímicas del glifosato.....	28
Figura 8. Materiales.....	40
Figura 9. Montaje experimental .....	41
Figura 10. Montaje experimental .....	42
Figura 11. Montaje individual por planta.....	43
Figura 12. Sistema de recolección del lixiviado.....	43
Figura 13. Toma de muestra lixiviados suelo y agua .....	44
Figura 14. Toma de muestra lixiviados suelo y agua antes del montaje experimental .....	59
Figura 15. Toma de microscópica de las muestras antes del montaje experimental.....	60
Figura 16. Suelo Arenoso- Propiedad Química –Conductividad-sistema 1.....	68
Figura 17. Materia Orgánica- Propiedad Química -Conductividad-Sistema 2 .....	69
Figura 18. Suelos arenosos + materia orgánica-Propiedad Química -Conductividad- Sistema 3 .....	70
Figura 19. Suelo arenoso- Propiedad Química pH-Sistema 1 .....	71
Figura 20. Materia Orgánica - Propiedad Química pH-Sistema 2 .....	73
Figura 21. Suelo arenoso + Materia Orgánica- Propiedad Química pH-sistema 3 .....	74

### **Lista de Fórmulas**

Fórmula 1. Porcentaje de remoción.....	45
Fórmula 2. Fórmulas de porcentaje de arena, limo y arcilla .....	46
Fórmula 3. Porcentaje de remoción por muestreo.....	85

### **Lista de Gráficas**

<b>Gráfico 1:</b> Porcentaje de remoción promedio $\text{NH}_4$ .....	93
<b>Gráfico 2:</b> Porcentaje de remoción promedio $\text{NO}_3$ .....	97

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** EVALUACIÓN AMBIENTAL DE UN POLIMERO PARA LA REMOCIÓN DE AMONIO, EN AGUAS PROVENIENTES DEL LAVADO DE UN SUELO CONTAMINADO POR GLIFOSATO

**AUTOR(ES):** Natalia Andrea Ortiz Estevez

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR(A):** Angélica María Muskus Morales

### RESUMEN

El suelo es uno de los recursos más importantes que brinda la naturaleza, este es de gran importancia ya que sobre él la vida tiene lugar debido a los diferentes procesos naturales, como la permeabilización del agua; es ahí donde los seres vivos, como plantas y vegetales se desarrollan y se encargan de beneficiar a animales y seres humanos. El uso extensivo e inadecuado de agroquímicos y pesticidas con fines de incrementar la productividad y cobertura de alimentos, ha ocasionado la degradación de los suelos, afectando las comunidades de organismos que viven en él en especial, el uso del herbicida glifosato, al ser un compuesto nitrogenado, ha demostrado incrementar las concentraciones de amonio en aguas provenientes de suelos agrícolas. Los polímeros han demostrado una gran gama de aplicaciones, desde adsorción de contaminantes como metales pesados, hasta aglomerantes en la industria de la construcción. En el presente trabajo, se evaluó la eficiencia de un geopolímero en la remoción de amonio de aguas provenientes del lavado de un suelo cultivado con plantas de hierbabuena (*Mentha spicata*), posterior a la aplicación del herbicida glifosato en combinación con una sal de amonio. La evaluación se realizó a través del seguimiento de diferentes análisis fisicoquímicos y bioorgánicos, evidenciando la variación de estas propiedades durante 61 días generando resultados positivos referente a la aplicación del geopolímero debido a la disminución de iones, la estabilización de los valores de calidad del agua de lixiviación y el aumento el oxígeno disuelto.

### PALABRAS CLAVE:

Herbicida, remoción, geopolímero, suelo, degradación, eficiencia, lixiviación, amonio

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** ENVIRONMENTAL EVALUATION OF A POLYMER FOR THE REMOVAL OF AMMONIUM, IN WATER COMING FROM THE WASHING OF A FLOOR CONTAMINATED BY GLYPHOSATE

**AUTHOR(S):** Natalia Andrea Ortiz Estevez

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** Angélica María Muskus Morales

### ABSTRACT

Soil is one of the most important resources that nature offers, this is of great importance since life takes place on it due to different natural processes, such as water permeability; It is there that living beings, such as plants and vegetables, develop and are responsible for benefiting animals and human beings. The extensive and inappropriate use of agrochemicals and pesticides in order to increase productivity and food coverage, has caused soil degradation, affecting the communities of organisms that live in it. In particular, the use of the herbicide glyphosate, being a nitrogenous compound, has been shown to increase ammonium concentrations in waters from agricultural soils. However, the recent study of polymers has demonstrated a wide range of environmental applications, from adsorption of contaminants such as heavy metals, to binders and waste stabilizers. In the present work, the efficiency of a geopolymer in the removal of ammonium from waters resulting from the washing of a soil cultivated with peppermint plants (*Mentha spicata*) was evaluated, after the application of the herbicide glyphosate in combination with an ammonium salt. The evaluation was carried out through the monitoring of different physicochemical and bioorganic analyzes, showing the variation of these properties for 61 days, generating positive results regarding the application of the geopolymer due to the decrease in ions, the stabilization of the water quality values of leaching and increasing dissolved oxygen.

### KEYWORDS:

Herbicide, removal, geopolymer, soil, degradation, efficiency, leaching, ammonia

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1. Introducción

Las aguas contaminadas, los suelos infértiles, la alta tasa de disminución de la biodiversidad y los cientos de casos por intoxicación han sido generados por el uso indiscriminado de plaguicidas en el territorio colombiano a medida de los últimos años.

El contacto directo e indirecto con estas sustancias pone en peligro la vida de diversas plantas, animales y personas las cuales son atendidas en diferentes centros médicos. A pesar de su alto grado de toxicidad, estos productos o sustancias los cuales están destinados a prevenir, destruir, repelar o combatir cualquier plaga siguen siendo comercializados en todo el mundo en el campo doméstico e industrial. La gran problemática de concientizar a la población del uso adecuado de estos productos y la regulación de su venta al público, también se basa en los problemas ambientales que han venido dejando al pasar de los años y como el ser humano ha sido afectado por ello.

En el 2015 el Gobierno de Colombia suspendió en el país la fumigación aérea de cultivos ilícitos con glifosato y otros químicos (Semana , 2017), pero existe un proceso judicial en curso ante la corte Constitucional Colombiana, en este podría haber un fallo que abra camino para una posible reanudación de este tipo de fumigación (Semana , 2017) El glifosato es uno de los plaguicidas probablemente cancerígeno para las personas, causando problemas dermatológicos, abortos, daños al nivel celular o enfermedades neurodegenerativas además de la amenaza hacia la biodiversidad sobre todo en peces y anfibios según la OEA, ocasionando también una alta contaminación, y eutrofización (Semana , 2017).

El presente trabajo se centra en evaluar la eficiencia ambiental de la aplicación de un polímero para la remoción de las concentraciones de amonio en aguas agrícolas de un suelo con aplicación previa de glifosato. El uso de polímeros ha sido ampliamente estudiado en la remoción de diversos tipos de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas. En el caso del proyecto en estudio, el polímero

se empleará para la remoción de amonio generado de la aplicación de glifosato en las muestras tomadas (herbicida nitrogenado) en combinación con una sal de amonio (utilizada para incrementar su efectividad de acción). El proyecto pretende dar solución a uno de los subproblemas generados de la aplicación de este herbicida, en relación a eutrofización por incremento de las concentraciones de nitrógeno en aguas superficiales y deterioro de la calidad de fuentes de agua para consumo debido a las altas concentraciones de amonio actualmente encontradas y que son producto principal de actividades agropecuarias.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la eficiencia de un polímero para la remoción de las concentraciones de amonio presentes en aguas agrícolas después de la fumigación con glifosato.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analizar la variación de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y bioorgánicas del suelo en estudio, con la aplicación del plaguicida.
- Determinar la influencia de la aplicación del plaguicida en la formación de amonio en aguas agrícolas.
- Determinar los porcentajes de remoción de amonio en las aguas de lavado por medio de la aplicación de un polímero.

### **3. Marco Teórico**

El suelo ha sido considerado uno de los componentes más fundamentales en el ambiente natural, el cual está constituido por diferentes minerales, aire, agua materia orgánica, macro y microorganismos que llegan a desempeñar procesos permanentes tipo biótico y abiótico los cuales prestan servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta (Van Miegrot & Johnsson, 2009).

Es importante resaltar que existen una gran variedad de suelos en el planeta. Todos llegan a diferenciarse por sus diferentes composiciones químicas, orgánicas y físicas, donde dichas variedades se deben a las diferentes composiciones de las rocas originarias, sumándole las condiciones climáticas, su topografía y la vegetación particular del lugar donde se desarrollaron. Los suelos son tan indispensables que determinan la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes, de igual manera la conservación de la biodiversidad haciéndolos parte de los ciclos biogeoquímicos porque en ellos hay distribución de materiales y energía, necesarios para la vida en el planeta (Van Miegrot & Johnsson, 2009).

Los suelos colombianos son diversos y frágiles, cuenta con 11 de los 12 órdenes de suelos existentes en el mundo a excepción de los gelisoles (IGAC, 2012). Los procesos con mayor degradación más resaltantes en Colombia son la erosión, sellamiento de suelos, contaminación y la alta pérdida de materia orgánica entre otras, los cuales afectan de manera impactante las regiones Andina, Orinoquia, Caribe. Todo esto debido a la alta demanda de bienes y servicios de los suelos y su desconocimiento de las funciones e importancia del suelo donde no hay un alto manejo de medidas para su recuperación, restauración y rehabilitación.

Los suelos colombianos abastecen una alta demanda para cultivos y su calidad es fundamental para dar cumplimiento a la seguridad alimentaria la cual viene siendo afectada y sometida de manera

socioeconómica y ambiental donde el aumento de las superficies cultivadas, la producción de alimentos ha incrementado el uso de los pesticidas y ciertos agroquímicos en el país. Los plaguicidas son sustancias químicas beneficiosas para los alimentos agrícolas, en Colombia, según el Banco Mundial, aproximadamente hace 20 años aumento el uso en toneladas y la importación de plaguicidas en un 360% (UN, 2015), también se encuentran los herbicidas nitrogenados que son productos químicos que impiden el crecimiento de malezas, siendo útil para la producción de cultivos.

### **3.1. Formación del suelo**

El suelo se va formando lentamente, 0.036 mm/año (PNAS, 2007), a partir de la roca y por diferentes procesos físicos, biológicos y químicos que van causando su ruptura paulatina, hasta convertirla en partículas muy pequeñas como la arcilla. La meteorización física, por medio de la humedad, los cambios extremos de temperatura, el hielo, el granizo, el viento, la presión atmosférica, quiebran la roca madre hasta convertirla en partículas pequeñas donde a la par, la roca es atacada principalmente por microorganismos como los líquenes, que llegan a absorber minerales de esta misma, incrustándose en su superficie. A medida que los líquenes van muriendo, van generando materia orgánica, y es cuando la meteorización química entra en acción pues el agua y el CO<sub>2</sub> entra en la roca permitiendo los diferentes procesos que llevan a la formación de arcillas y el intercambio de nutrientes en medio de las fases sólida y líquida del suelo.

En este ocurre una meteorización física o química que ocasiona una fragmentación de la roca madre y que físicamente varía de temperatura, es así como de manera biológica se transforma los restos vegetales de materia orgánica descompuesta, que origina la capa de humus llevando un proceso de descomposición: hongos y bacterias.

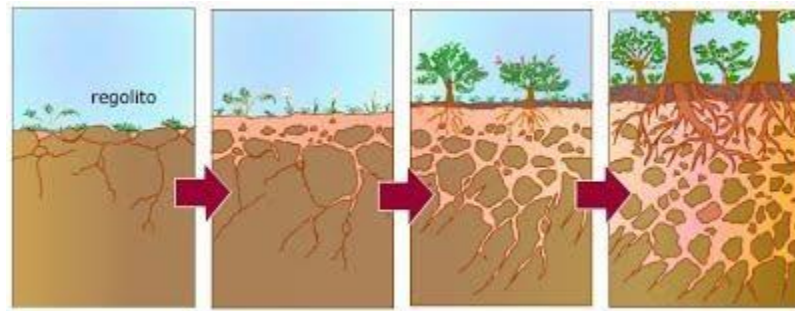


Figura 1. Textura del suelo  
Fuente: La formación del suelo- los ecosistemas

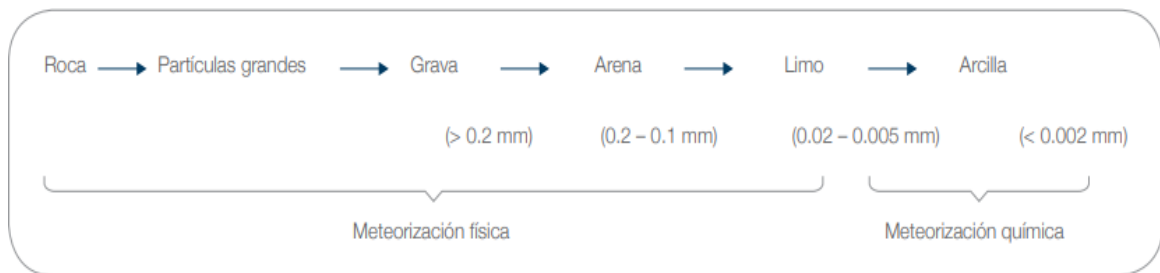


Figura 2. Proceso de degradación de una roca

Fuente: Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. Tegucigalpa (2016)

### 3.1.1. Componentes del Suelo.

Existen dos tipos de componentes, como lo son, bióticos, los seres vivos, y los sólidos del suelo que representan el 50% del volumen, que se encuentran en partículas y el humus.

- ✓ **Partículas Minerales:** depende de tamaño, se dividen en, arenas, limos y arcillas, las cantidades de partículas en el suelo determinan el tipo de vegetación que puede crecer.
- ✓ **Humus:** materia de color oscura, formada por mezcla de restos vivos y partículas minerales.

### 3.1.2 Perfil de un suelo.

Se denomina perfil del suelo a un corte transversal donde el suelo en el que aparecen se divide por una serie de capas llamadas horizontes, el número de estos y grosor depende del grado de madurez del suelo. (Edafología, 2017)

- ✓ **Horizonte A:** capa superficial, es de color oscuro y en ella se asientan los seres vivos, cuyos restos contribuyen a que se forme el humus.
- ✓ **Horizonte B:** En ella se acumulan iones y sales minerales procedentes del horizonte A, arrastrados por el agua. Su color varía en función de la cantidad de humus, que le proporciona un color oscuro, y de las sales minerales que acumulan, que la aclaran debido a la presencia de carbonato cálcico o arrojado que contiene óxidos de hierro.
- ✓ **Horizonte C:** Es la zona de contacto con la roca madre, que son los materiales sobre donde se desenvuelve el suelo.



Figura 3. Perfil de un Suelo

Fuente: Componentes y propiedades trifásicas del suelo-Edafologia-2015

### 3.1.3. Cómo los suelos abastecen nutrientes a las plantas.

#### 3.1.3.1. Los coloides.

Para los suelos uno de los componentes más importantes son los coloides. Los coloides son pequeñas partículas minerales u orgánicas que tienen la característica de poseer en su superficie

cargas eléctricas sin neutralizar, tanto negativas como positivas. Los nutrientes de las plantas por lo general tienen cargas eléctricas. Todo eso se da ya que los nutrientes son átomos o moléculas que poseen electrones o algunas veces protones sin neutralizar. Por lo general, se denominan bases o cationes los que tienen cargas positivas y son el amonio, el potasio, el calcio, el magnesio, el hierro entre otros, estos se encuentran a cargas a tener cargas negativas se les denominan aniones y son el nitrato, ácido fosfórico, sulfato, el ácido bórico y el molibdato. En la siguiente tabla se podrán observar los nutrientes necesarios para las plantas.

Cationes	Símbolo y carga	Aniones	Símbolo y carga
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Calcio	Ca <sup>++</sup>	Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	Ácido fosfórico	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> y HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Potasio	K <sup>+</sup>	Molibdato	MoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Sodio	Na <sup>+</sup>	Oxígeno	O <sup>-</sup>
Hierro	Fe <sup>++</sup> y Fe <sup>+++</sup>	Ácido bórico o hidróxido de boro	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y B(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Manganeso	Mn <sup>++</sup>		
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
Hidrógeno	H <sup>+</sup>		
Zinc	Zn <sup>++</sup>		
Cobre	Cu <sup>++</sup>		

Figura 4. Nutrientes necesarios para las plantas  
 Fuente: Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. Tegucigalpa (2016)

Los nutrientes se fijan a los coloides atraídos por sus cargas, por ende, los nutrientes se mantienen en las capas superiores del suelo y pueden llegar a ser aprovechados por la planta. El alto contenido de coloides es fundamental para la fertilidad de los suelos, es decir, a mayor coloides, mayor fertilidad ya que habrá una alta capacidad de almacenamiento de nutrientes. Se llega a considerar que alrededor del 98% de los nutrientes esenciales para las plantas están inmovilizados en los minerales y la materia orgánica del suelo, un 1.8% está adherido a los coloides y un 0.2% se encuentra en la solución (Valagro, 2004).

### 3.14. Características físico químicas y bioorgánicas del suelo.

#### 3.1.4.1. El pH del suelo.

El pH tiene un significado potencial de hidrogeno y nos da la concentración de hidrogeno en la solución del suelo. Esta medición va en una escala de 1 a 14, donde siete es la mitad lo cual refiere a un pH neutro. Cuando un pH es neutro, la cantidad de hidrogeno ( $H^+$ ) en la solución del suelo es igual al contenido de hidróxidos ( $OH^-$ ) Cuando este está por debajo de siete, el suelo es ácido y a medida que el pH disminuye se va volviendo más ácido. A diferencia que cuando el pH está por encima de siete, el suelo es alcalino o básico y lo será más cada vez que este se vaya incrementando como se muestra en la Figura 5. El pH es una muestra importante para el diagnóstico del estado de disponibilidad de nutrientes para las plantas que, por lo general, cuando se encuentra entre 6.0 y 7.0 se acepta que, habrá mayor disponibilidad de nutrientes asequibles para las plantas.

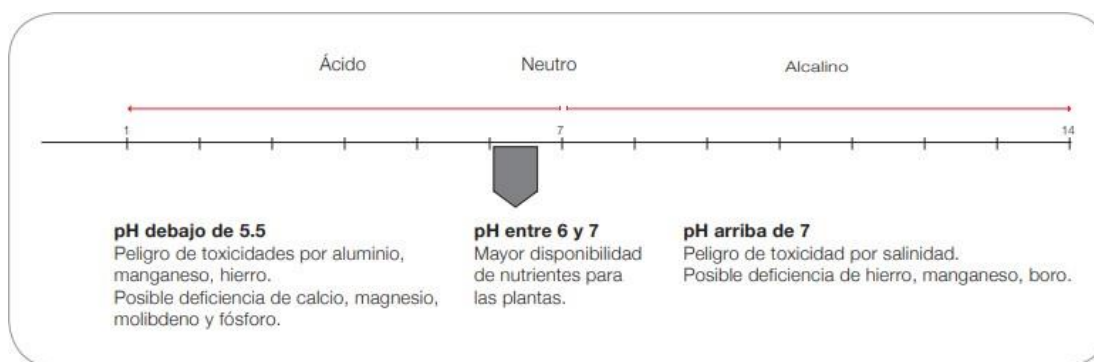


Figura 5. pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Fuente: Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de honduras- Tegucigalpa, Honduras (2016)

#### 3.1.4.2. Acidez en los suelos.

La acidez presente en el suelo llega a corresponder a la concentración de iones hidronio en disolución, extraída de la mezcla de suelo y agua o del suelo y una disolución extractora. La acidez puede presentarse por diferentes factores, ya sea por pérdida de la capa arable por erosión,

extracción de nutrientes en sistema de cultivo intensivo, un efecto residual ácido de fertilizantes nitrogenados amoniacales, un manejo inadecuado del encalado, deforestación o escaso uso de técnicas de determinación de fertilidad en los suelos. Este fenómeno puede llegar a reducir el crecimiento de las plantas, puede generar una disminución de algunos nutrientes y puede llegar a favorecer la solubilidad de elementos tóxicos para las plantas como el Al y Mn (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

Otro causante de la acidez en los suelos es la lluvia, el peso generado por la capa de agua después de una fuerte lluvia, hace que esta misma atraviese el suelo hasta estratos profundos para depositarse en algún acuífero subterráneo, esta capa de agua arrastra consigo los nutrientes del suelo en especial los catiónicos los cuales son reemplazados por hidrogeno que provienen directamente del agua donde paulatinamente va transformando el suelo en ácido. Cuando hay mucho hidrogeno, algunos llegan a ingresar a la parte sólida de las arcillas, y en su estructura reemplazan al aluminio (Besiaín, 1985) el cual va al agua del suelo y es absorbido por las plantas y otros por los coloides negativos dejados por los lavados de agua.

Por otro lado, cuando el pH del suelo se vuelve muy ácido, por debajo de 5.5, en muchos suelos la solubilidad de manganeso se llega a incrementar tanto que puede llegar a dañar las plantas por toxicidad. Por lo general estos procesos ocurren mucho en los suelos del trópico húmedo, debido a sus largos periodos de lluvia, generando así suelos infértiles, con una fuerte acidez, altas concentraciones tóxicas de aluminio y manganeso, además de una alta deficiencia de nutrientes esenciales para las plantas. Otros procesos que llegan acidificar el suelo, pueden ser algunos fertilizantes y herbicidas utilizados en la agricultura, los cuales contienen una alta cantidad de amonio, como nitrato de amonio y sulfato de amonio, liberando hidrogeno acidificante cuando este

mismo es transformado a nitrato por los microorganismos. Esto mismo sucede cuando se libera amonio a partir de la materia orgánica (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

#### **3.1.4.3. *Materia orgánica del suelo.***

La materia orgánica se compone de diferentes carbohidratos, ligninas y proteínas. Por lo general, los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y sus residuos más fuertes en humus. A medida de este proceso de descomposición los microbios pueden llegar a atrapar el nitrógeno del suelo. La materia orgánica y el humus recolectan muchos nutrientes del suelo, mejorando su estructura, ayudan a prevenir la erosión y mejoran su capacidad de detención de nutrientes y aguas de suelos arenosos. Por lo general, la cantidad de materia orgánica del suelo depende mucho de su vegetación, clima, textura del suelo, su labranza y su drenaje (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

#### **3.1.4.4. *Los microorganismos en el suelo.***

La diversidad de los microorganismos está fraccionada en el suelo y cumplen funciones determinantes en la transformación de dichos componentes orgánicos e inorgánicos, esto permite comprender la importancia que tienen hacia el suelo por ende las plantas en su nutrición, llevando a estos a un proceso de humificación de la materia orgánica que es un proceso netamente microbiológico (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

El suelo es un hábitat que favorece la proliferación de microorganismos y en estas partículas se desarrollan microcolonias. Los microorganismos apartados del suelo pueden contener virus, bacterias, hongos, algas, protozoos, donde la materia orgánica es relativamente alta en estos ambientes, favoreciendo el desarrollo de microorganismos heterótrofos.

En la microflora del suelo se encuentran características importantes de las cuales el suelo, por lo tanto, las plantas son beneficiadas llevado a que su desarrollo sea el adecuado (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

#### ***3.1.4.5. Conductividad eléctrica del suelo.***

La conductividad eléctrica es la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar las diferentes sales en la conducción de esta, es decir, que esta conductividad eléctrica mide la concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo. Para generar un buen desarrollo de los cultivos dependerá de muchos factores bióticos y abióticos, donde los abióticos se centran en las propiedades fisicoquímicas de los suelos. Algo que determina la calidad y fertilidad de un suelo agrícola es su contenido de sales presentes. Ya que estas pueden reducir el potencial osmótico de la solución del suelo, y su vez reduciendo la disponibilidad de agua para las plantas. Por lo general, los problemas de salinidad están más presentes en regiones áridas y semiáridas (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

Dicha conductividad eléctrica de la disolución o de las raíces llegan arrojar resultados se encuentran por encima del óptimo para el cultivo, dicha planta deberá esforzarse más para poder absorber nutrientes, esto se debe a que el gasto de energía adicional por parte de la planta, y en consecuencia, a la reducción de su rendimiento productivo; es el contrario si dicha conductividad eléctrica se encuentra en su valor óptimo, dicha planta podrá nutrirse sin gastar una mínima energía (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

#### **3.1.4.6. *El oxígeno disuelto en los suelos.***

El oxígeno disuelto es una variable de vital importancia en el diagnóstico y control de la contaminación, en esta se encuentra la cantidad de materia orgánica presente, este proviene de la actividad fotosintética del plancton y algas y de la disolución no atmosférico en el agua (Pedraza, Villamizar, Valencia, & Pabón, 2018).

### **3.2. Agroquímicos y pesticidas en suelos**

La cadena productiva de agroquímicos comprende cuatro actividades: la producción de productos intermedios para fertilizantes, la de abonos y fertilizantes, la elaboración de plaguicidas, y de herbicidas y reguladores biológicos. Este perfil presenta en forma breve la caracterización de la estructura productiva (Bórtoli, Verdenelli, Conforto, Vargas Gil, & Meriles, 2012).

La industria de agroquímicos presenta una alta dependencia de la evolución de la actividad agrícola, especialmente de la agroindustria y el sector cafetero. Por lo tanto, su demanda se ve afectada por elementos diversos como el factor climático (Bedoya, 2010).

El funcionamiento de los agroquímicos en el suelo va a depender de las propiedades fisicoquímicas del mismo, así como también de las características del suelo y las condiciones climáticas, básicamente los pesticidas actúan en el suelo disminuyendo la actividad de enzimas, donde se influyen las reacciones bioquímicas, como lo son (Bedoya, 2010):

- Materia Orgánica
- La nitrificación
- La desnitrificación
- La amonificación

En el momento que el plaguicida llega al ecosistema del suelo, se absorbe desde las raíces de las plantas, o se transporta por escorrentía y así contamina las fuentes de agua, es así como se observa cuáles son los factores que condicionan de forma directa el destino de los plaguicidas, entre esas se encuentran:



por qué permite su aplicación de diversas maneras (APT Rivera, 2019). Las formulaciones de glifosato se encuentran registradas en más de cien (100) países, incluyendo los Estados Unidos; en donde ha sido aprobado por la U.S. E.P.A. (Agencia de Protección Ambiental) para ser utilizado en más de sesenta cultivos agrícolas, en manejo de bosques sometidos a intervención para su conservación, y en sistemas de cultivos diferentes.

#### ***3.3.1.1. Propiedades físico químicas del glifosato.***

Por sus propiedades físicas y químicas naturales, el glifosato es un plaguicida que hace parte al grupo de los herbicidas de acción sistemática, es decir, por la vía del follaje. El cual no es apto para el tratamiento de control de maleza por la vía del sistema radicular. El glifosato viene siendo una solución líquida, clara, viscosa de color amarillo, por lo general tiene unas concentraciones de iones H de 4,4 a 4,9. Por lo general es inoloro o un leve ligero olor a amina; tiene un peso molecular de 169,08 y un punto de fusión de 200 c (Plan manejo ambiental erradicación de cultivos ilícitos, 2000).

Propiedad	Compuesto Puro (Ingrediente activo)	Sal de Glifosato-Isopropilamonio
Fórmula Molecular	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> N O <sub>5</sub> P	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> P
Peso Molecular	169.1 g/mol	228.2 g/mol
Estado Físico	Sólido blanco	Líquido viscoso de color ámbar a amarillo
Olor	Inodoro	Prácticamente inodoro, ligero olor a amina
Densidad	0.5 g/ML	1,160 - 1,180 g/mL
Punto de Fusión	184,5 ° C	No Aplicable (Estado líquido)
Presión de Vapor	1,84 x 10 <sup>-7</sup> mm de Hg a 45°C	3 x 10 <sup>-7</sup> mm Hg a 25°C
Punto de Ebullición	Se descompone	Se descompone
pH en solución al 1%	2,5	4,7
Solubilidad en Agua	12 .000 ppm a 25°C	900. 000 ppm a 25°C
Otros Solventes	Ninguno	Sólo soluble en agua
Estabilidad	32 días a 25°C y pH = 5,7 ó 9	32 días a 25°C y pH = 7 ó 9
Coefficiente de Partición octanol/agua	P <sub>ow</sub> = -2,8	N.D.
Constante de Ley de Henry	< 7 x 10 <sup>-11</sup>	N.D.
Corrosividad	No corrosivo	No Corrosivo
Punto de inflamación		
Productos de combustión		
Reactividad con materiales del envase		

Figura 7. Propiedades fisicoquímicas del glifosato  
Fuente. Glifosato DNE

Según el fabricante, la formulación típica del Glifosato de uso comercial, en su presentación de líquido soluble, contiene: Glifosato N-(Fosdonometil) glicina, en sal isopropilamina 41%, Inertes: (Seboaminas etoxiladas) 59%. En otras formulaciones comerciales del Glifosato, se le incorpora un surfactante llamado Polioxietil amina POEA surfactante, una porción aproximada al 15% referencia, según varias investigaciones toxicológicas, puede llegar a generar daños gastrointestinales, afecciones al sistema nervioso central, problemas respiratorios y destruir glóbulos rojos en la sangre humana. Del Polioxietil amina POEA surfactante se podría decir también, que puede contener impurezas identificadas como 1-4 Dioxano la cual igualmente contiene la capacidad cancerígena para animales y causar daños en el hígado y riñones humanos.

### 3.3.1.2. *Problemas ambientales generados por el Glifosato.*

Los efectos por pérdida del producto durante la aplicación o el escurrimiento producido en la aplicación del herbicida pueden generar efectos totales o selectivos sobre la flora del ambiente al cual se está involucrando referencia. En términos ambientales, las altas concentraciones a los que se llega a exhibir la vida silvestre habrá efectos tanto directos o indirectos indeseables, los

cuales llegaran a ser reevaluados independientemente y de una manera adecuada. Si muchas plantas silvestres protagonistas en este proceso (Pengue, 2003).

El glifosato no solo afecta a las plantas que es en donde se utiliza, también afecta salud humana y el medio ambiente, ocasionando la contaminación de aguas por su estabilidad del compuesto, a la disminución en la supervivencia de diferentes artrópodos lo que va afectando gravemente la cadena trófica de los entornos agrarios donde se utiliza dicho herbicida (Pengue, 2003).

Este herbicida no solo es utilizado en el control de malas hierbas, sino que también está catalogada como una destructora de distintos cultivos, tanto legales como ilegales, y es así como numerosas organizaciones sociales, humanitarias y ecologistas han denunciado su uso en las fumigaciones llevadas a cabo por el Plan Colombia.

### ***3.3.1.3. Contaminación del suelo por glifosato.***

La información y estudios por el movimiento y persistencia del glifosato en suelos llegan a ser muy variada. Según la EPA y otras fuentes, el Glifosato que llega al suelo es fuertemente absorbido, inclusive en suelos con bajos contenidos de arcilla y materia orgánica, por ende, aunque es altamente soluble en agua, se considera que es inmóvil, permaneciendo en las capas superiores del suelo, siendo así poco propenso a la percolación y con bajo potencial de escorrentía, a excepción cuando se absorbe a material coloidal o partículas suspendidas en el agua de escorrentía (Nivia, 2012).

El glifosato puede llegar a ser absorbido de manera fácil en diferentes suelos, ósea que puede soltarse de las partículas y tener la libertad de ser muy móvil en el ambiente del suelo (Dinham, 1998) también, existen estudios que hablar de una larga persistencia en suelos, considerándose una larga degradación inicial es más rápida que la degradación posterior de lo que permanece, generando así una alta persistencia. El pH y el contenido de la materia orgánica tienen poco efecto

sobre la capacidad de unión del herbicida. La movilidad llega a aumentar cuando el pH es alto y también con alto contenido de fosfato inorgánico. Su lixiviación en el suelo es bastante limitada si se llega a comparar con otros herbicidas puesto que el glifosato no es volátil (Permingeat, 2008). El glifosato, no es considerado como un contaminante del suelo si se llega a usar una dosis recomendada, se aplica en aspersión foliar alcanzando el suelo por esto mismo, o por el mismo chorreado de la planta. También puede ser traslocado a la raíz del tejido foliar y ser exudado al suelo por las raíces. La vida del Glifosato en el suelo es muy variable, puede ser de máximo 174 días según el tipo de suelo y las condiciones climáticas.

#### ***3.3.1.4. El glifosato en Colombia.***

Los suelos colombianos abastecen una alta demanda para cultivos y su calidad es fundamental para dar cumplimiento a la seguridad alimentaria la cual viene siendo afectada y sometida de manera socioeconómica y ambiental donde el aumento de las superficies cultivadas, la producción de alimentos ha incrementado el uso de los pesticidas y ciertos agroquímicos en el país. Los plaguicidas son sustancias químicas beneficiosas para los alimentos agrícolas, en Colombia, según el Banco Mundial, aproximadamente hace 20 años aumento el uso en toneladas y la importación de plaguicidas en un 360% (UN, 2015) también se encuentran los herbicidas nitrogenados que son productos químicos que impiden el crecimiento de malezas, siendo útil para la producción de cultivos.

La aplicación de herbicidas nitrogenados tiende a ser los más utilizados por su economía y eficiencia en el control de las plantas en combinación con sales de amonio. Cabe resaltar que este plaguicida es utilizado en muchos cultivos en las diferentes zonas del país, uno de los cultivos más destacados son el cultivo de maíz en el proceso de fumigación y disolución de los herbicidas nitrogenados se debe tener en cuenta la concentración de los componentes, las reacciones que

ocurren al estar expuestas directamente en el suelo y la relación de agua-herbicida, ya que la dureza del agua es un factor negativo que causa una gran disminución en la eficiencia de herbicida nitrogenado (Baumann, 1998). Para corregir este factor y mejorar la eficiencia de acción de herbicida, se es recomendable utilizarlo junto con sulfato de amonio ya que esta permite estabilizar el producto, unificar sus componentes para la aplicación por medio de un tanque pulverizador para la interacción de la fusión de sales con el herbicida, con el fin de prevenir la formación de complejos inactivos que dificultan la absorción y el efecto del herbicida, con el fin de prevenir la formación de complejos que dificultan la adsorción y el efecto del herbicida en las plantas (Gerardo Espinoza, 2009). Es por ello que, en la preparación del herbicida, si se suspende la adición de agua se ioniza y al encontrarse en un suelo ácido o alcalino puede que el producto este en mayor cantidad en forma absorbible por la planta afectando su crecimiento (Arévalo, G., 2008). Estas aplicaciones generan unos residuos del mismo herbicida y de los productos de degradación como también de las sales aplicadas como coadyuvantes generando así un aumento de concentraciones de amonio en los suelos como en aguas ocasionando contaminación, eutrofización y salud pública.

#### ***3.3.1.5. Normas de uso del Glifosato.***

Conocer la normatividad del glifosato permite desarrollar de mejor manera el desarrollo de dicho componente, de hasta dónde van dichos parámetros para la utilización del compuesto. Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola y su Resolución 630 de 2002 Manual Técnico Andino para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola.

De igual manera, en 2017 la Corte Constitucional de Colombia prohibió la aspersion con glifosato, precisamente por las posibles afecciones a la salud y a los ecosistemas denunciadas por las

comunidades de Nóvita (Chocó), Quebrada Larga y los consejos comunitarios Cocoman y Acadesan, entre otros (Bórtoli, Verdenelli, Conforto, Vargas Gil, & Meriles, 2012).

### **3.3.1.6. *Glifosato y Sulfato de Amonio.***

El trabajo de estos dos componentes se basa, primero en que el Sulfato de Amonio acidifica el agua reteniendo los carbonatos y las arcillas del agua de río, reteniendo el contenido de nitrógeno que se encargan de estimular la apertura de las estomas, dando como resultado una pérdida menor del glifosato en donde disminuye la retención por coloides y carbonatos como por no ionización del glifosato (Bórtoli, Verdenelli, Conforto, Vargas Gil, & Meriles, 2012).

Sulfato de Amonio es un potencializador de los herbicidas, permite aplicaciones a malezas de gran porte ya que necesitan una chapea antes de ser asperjadas con algún herbicida permitiendo un ahorro en tiempo y dinero en el control de las malezas. Esta técnica ha tenido tanta aceptación que su uso se está extendiendo a otras zonas productoras de banano y a otros cultivos referencia.

También existe una problemática y es el incremento de amonio en las aguas superficiales, estos daños medioambientales se asocian a la contaminación por dicho compuesto, esto se ve reflejado en los ríos y lagos por su alta acidificación y baja alcalinidad, en las aguas dulces y marinas se adiciona a que las algas están siendo tóxicas, y esta se origina de dicho compuesto y es perjudicial para los animales y por ende para la salud humana. Dichas concentraciones dependen del pH y la temperatura del agua, a medida que dichos valores de pH y temperatura aumentan mayor es la concentración de  $\text{NH}_3$  y menor la de  $\text{NH}_4$ .

Teniendo en cuenta que una de las problemáticas es el aumento de la concentración de amonio en las aguas superficiales proveniente de cultivos agrícolas por el uso indiscriminado de glifosato y sulfato de amonio, se ha llegado a generar diferentes estrategias para el tratamiento del uso de sustancias químicas contaminantes empleadas en diferentes partes del país y del mundo como lo

son el uso de nuevos materiales como los polímeros, carbón activado, procesos microbiológicos, entre otros.

### **3.3.2 Polímero.**

El termino polímero se utiliza en una gran variedad de productos que se ofrecen en el mercado de la industria de construcción de carreteras, y algunos de estos productos tienen la misma fórmula que los jabones en polvo, teniendo la función de ayudar a lograr la máxima densidad cuando se compacta con el suelo tratado. La gran mayoría de estos polímeros requieren de gran contenido de arcilla y cuentan con una capa para proporcionar las propiedades vinculantes que se requieren para una base de carreteras exitosa.

Como dato general para el funcionamiento del polímero para un enfoque agricultor, estos polímeros están formados por poliacrilamida de potasio que pueden llegar a capturar entre 50 y 400 veces su peso al entrar en contacto con el agua; cuando el polímero se encuentra ya en el suelo, este retiene el agua que drena desde la superficie es así como se mantiene sus sistema radicular para que la planta por medio de osmosis tome lo que necesite, este también permite que solo las raíces puedan extraer el agua que se contiene en el polímero.

Los Polímeros hidroabsorbentes agrícolas son productos que, aplicados en la tierra o sustrato, a la dosis adecuada y bien mezclados en ella, ayudan a crear reservas de humedad a disposición de las plantas que sobre ese terreno se cultivan.

También son conocidos los polímeros sintéticos en la agricultura ya que es utilizada como una tecnología emergente que permite convertir tierras que muestran aparente improductividad y ayuda a incrementar la calidad de frutas y de hortalizas.

La tecnología de estos polímeros se puede usar en todas las aplicaciones principales de construcción con equipo pesado que requieran estabilización de suelos, entre ellas:

- Construcción de caminos
- Bermas de tierra de contención secundaria
- Estabilización del suelo Minería y exploración petrolera
- Proyectos de obras públicas
- Control del polvo y de la erosión

Es económico y fácil de usar. El polímero se cura rápidamente, con lo que se logra una interrupción mínima del tránsito en proyectos de estabilización y reparación de carreteras. Los sólidos del polímero se aplican en una solución y a medida que se evapora el agua durante el curado, las moléculas del polímero se fusionan y forman fuertes enlaces entre el suelo y las partículas del agregado.

- Carreteras duraderas
- Menos surcos, paleado y desmoronamiento de la superficie de la carretera
- Control de la erosión
- Supresión del polvo y control de emisiones de particulado

#### ***3.3.2.1. El polímero empleado en este estudio.***

El geopolímero utilizado en el presente estudio es sintetizado a partir de un material proveniente de desechos industriales conocido como calamina o “casarilla de laminación”. La calamina es un subproducto importante generado en las siderúrgicas y su formación se da por la oxidación de la superficie de acero en la elaboración de productos semiterminados o por procesos de laminado caliente (UPME , 2018).

La calamina se desprende por dos medios: la separación mecánica o química. El proceso mecánico consta en ejercer presión mediante el contacto entre los cilindros de laminación y la banda o el

desbaste. En el medio químico se aplica un ácido con el fin de disolver la cascarilla, la cual es recuperada posteriormente.

Los componentes de la cascarilla de laminación son principalmente óxidos de hierro, trazas de metales no férricos, metales alcalinos y aceite de laminación. Se calcula que al producir una tonelada de acero laminado se generan entre 20-40 kg de calima, lo cual representa una gran oportunidad de reutilizar el hierro en otras áreas del proceso, sin embargo, al contener aceite las posibilidades del reciclaje son limitadas (Álvarez, 2019) (UPME, 2018).

Se aplica los principios de la economía circular (reducir, reutilizar y reciclar) al utilizar como materia prima la calamina proveniente de residuos industriales en la sintetización de geopolímeros y de esta manera promover la adsorción de contaminantes, clasificando como una tecnología verde. Dicha información es procedente de un trabajo investigativo con la UIS (Universidad Industrial de Santander), lo que se quiere con el proyecto es evaluar las propiedades de este material en la remoción de amonio en fuentes superficiales.

#### **4. Metodología**

En la **Fase I** se analizaron las variaciones de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y bioorgánicas del suelo en estudio, con la aplicación del plaguicida. La muestra se obtuvo del suelo de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga por la zona del Campamento de trabajadores, localizada en el nor-oeste (N 7°2'21.228" W 73°4' 28.7508") del territorio colombiano con una altura de 925 msnm, temperatura promedio de 24°C.

La principal actividad en esta zona para trabajar es la jardinería y la recolección de residuos aprovechables para usarlos en la elaboración del compostaje. Por ende, se facilitará el abono para utilizarlo en nuestro montaje de plantas. Fue de suma importancia realizar un análisis antes y

después de la aplicación del plaguicida con el fin de identificar cualquier característica microbiológica, fisicoquímica y bioorgánica del suelo estudiado. El resumen de los análisis realizados se evidencia en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Propiedades Físicas.

<b>Determinación de textura</b>	<b>Densidad real</b>	<b>Densidad aparente</b>
La textura se determinará por el método de Bouyoucos que consiste en agregar 100g de la muestra a analizar, 100 ml de agua y 10 ml de agente dispersante, donde se bate la mezcla por 10 minutos. Posteriormente se pasa la suspensión a un cilindro graduado de 1000 ml, luego de agitarse por 1 minuto se hace una lectura los 40 seg posteriores para calcular el % de Arena, a las 2 horas se hace a siguiente lectura para determinar el % de Arcilla y % de Limo.	En 3 probetas colocar 25 ml de agua y agregar 20 gramos de la muestra, para determinar por el principio de Arquímedes el líquido desplazado por la muestra de suelo.	Pesar un cilindro seco y limpio en el que se extrae la muestra de suelo, Posteriormente se lleva a la estufa a 105° por 24 horas. Donde se determinará el peso de la muestra seca y húmeda.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Propiedades Químicas.

<b>Determinación de pH</b>	<b>Determinación de conductividad</b>
El pH se determinará por el método potenciométrico que consiste en agregar 30 g de suelo en un vaso de precipitado de 100 ml, adicionar 30 ml de agua. Agitar por 5 min luego se deja en suspensión por una hora.	Agregar 30 g de suelo en un vaso de precipitado de 100 ml, adicionar 30 ml de agua. Agitar por 5 min. Se realiza la lectura en el conductímetro mientras las partículas del suelo están todavía en suspensión.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Características Bioorgánicas del suelo.

<b>Materia orgánica del suelo</b>	<b>Características microbiológicas</b>
La materia orgánica se determinará por el método de calcinación que consiste en agregar 20 g de suelo seco	Se realizará un medio de cultivo para sembrar disoluciones de las diferentes muestras de suelo en

---

en un crisol donde su peso es conocido, se lleva a la mufla a 300°C por 4 horas luego se deja enfriar en el desecador y se calcula el % de materia orgánica.

solución salina, posteriormente se realizará una tinción de Gram de las bacterias presentes en la muestra.

---

Fuente: Elaboración propia

En la **Fase II** Se determinó la influencia de la aplicación del plaguicida en la formación de amonio en aguas agrícolas.

#### **4.1. Diseño experimental**

En el diseño experimental se tendrán en cuenta las variables necesarias para la correcta interpretación de los resultados. A continuación, en la tabla 4 se muestra la propuesta del diseño del experimento a realizar de igual forma se puede observar los montajes que se realizaran, el montaje se realizara por triplicado para tener más certeza de los datos obtenidos.

Se realizará una variación de aplicación de plaguicida a los diferentes montajes propuestos en la tabla 4 con la finalidad de obtener resultados de acuerdo a esta aplicación y su suelo correspondiente. Las unidades experimentales se trabajaron por triplicado y en todas se incluyó la siembra de plantas de hierbabuena (*Mentha spicata*) como cultivo modelo.

En este diseño experimental como se muestra en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 a continuación, se divide en tres sistemas. El primer sistema correspondió a la utilización de un suelo arenoso proveniente de los predios de la Universidad Pontificia Bolivariana, el segundo sistema correspondió al uso de material orgánico proveniente de abonos orgánicos producidos de igual forma en la Universidad Pontificia Bolivariana y el tercer sistema es la combinación de los dos sistemas anteriores mencionados. A cada uno de los sistemas se adicionó un herbicida nitrogenado, en nuestro caso, fue el glifosato. En el segundo caso, se adicionó el herbicida junto con el sulfato

de amonio como un catalizador de mejoramiento de acción del herbicida y el tercer caso se aplicó un polímero con acción de filtro dentro del tratamiento.

#### 4.2. Montaje experimental

*Importante:* Los resultados están divididos y organizados por sistemas:

- Sistema 1 (Suelo arenoso),
- Sistema 2 (Materia orgánica)
- Sistema 3 (Suelo arenoso + materia orgánica)

Tabla 4. Sistema 1: Suelo Arenoso

Unidad experimental	Suelo (Arenoso)	Pesticida Nitrogenado al 50%	Pesticida Nitrogenado al 50% + Sulfato de amonio	Aplicación de polímero
1	x			
4	x	x		
7	x		x	
10	x			x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Sistema 2: Materia orgánica

Unidad experimental	Materia Orgánica	Pesticida Nitrogenado al 50%	Pesticida Nitrogenado al 50% + Sulfato de amonio	Aplicación de polímero
2	x			
5	x	x		
8	x		x	
11	x			x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Sistema 3: Suelo Arenoso + Materia orgánica

Unidad experimental	Suelo	Materia Orgánica	Pesticida Nitrogenado al 50%	Pesticida Nitrogenado al 50% + Sulfato de amonio	Aplicación de polímero
3	x	x			
6	x	x	x		
9	x	x		x	
12	x	x			x

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Descripción del montaje experimental

El montaje experimental se realizó con el fin de simular condiciones naturales de aplicación del pesticida nitrogenado, glifosato. Para ello primero se consideró la aplicación del pesticida sobre un cultivo modelo tipo herbáceo hierbabuena (*Mentha spicata*), luego se simularon condiciones de aplicación del pesticida, teniendo en cuenta las concentraciones reales aplicadas en campo para la destrucción de cultivos ilícitos; finalmente y durante el seguimiento de los sistemas, se realizó un riego periódico y manual, simulando condiciones climáticas de pluviosidad.

- Germinación y trasplante de *Mentha spicata*:

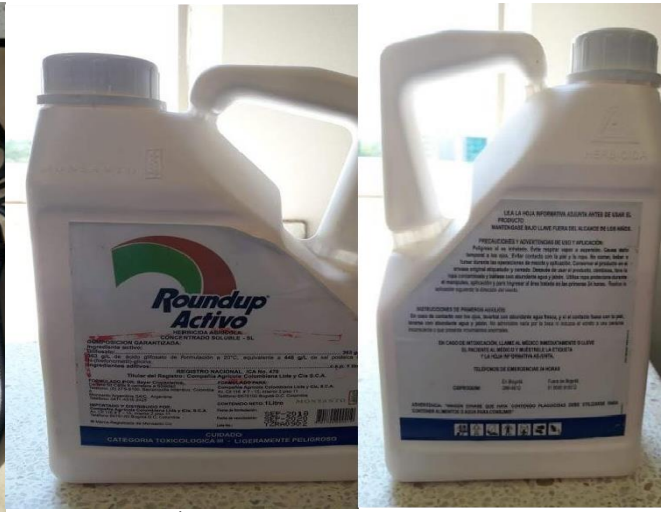
La hierbabuena (*Mentha spicata*) es una planta herbácea que posee un tallo alargado y hojas redondeadas que despiden un aroma característico. Esta planta requiere de ciertas condiciones de suelo, preferiblemente suelos de carácter arenoso combinado con una mezcla de abono (compost o humus de lombriz por su rápida absorción de raíz), también requiere de un riego constante y abundante. Por lo general sus condiciones ambientales son en climas templados-fríos.

- Se plantó una rama de hierbabuena por recipiente, teniendo en cuenta lo requerido por ellas (Humedad, luz y tipo de suelo) para su crecimiento.
- Pasadas 4 semanas de adaptación de la planta, se plantó en una botella de 150 mL.

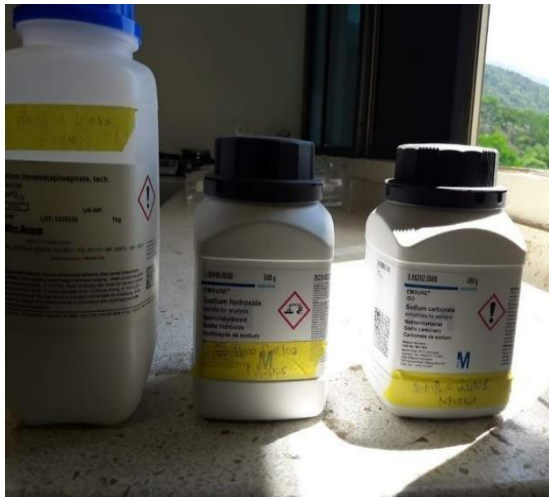
Se muestra a continuación en los paneles A, B y C de la figura 8, los diferentes materiales utilizados para llevarlo a cabo.



Panel A. pH metro



Panel B. Ácido glifosato



Panel C. Pruebas de semilleros de suelo



Panel D Muestras de agua + glifosato + ácido amonio

Figura 8. Materiales  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Diseño del montaje

Se realizó el diseño del montaje experimental (Figura 9) en una estructura metálica de aproximadamente dos metros de alto por dos de ancho con la capacidad de soportar las 33 muestras de suelo (unidades experimentales) que serán utilizadas para el análisis de la remoción del amonio.

Esta estructura cuenta con tres bandejas metálicas donde se distribuyen 42 orificios de un diámetro respectivo, en donde se ubicó cada botella o unidad experimental con su referente planta y suelo. Las unidades se pintaron de color oscuro para impedir la degradación fotolítica del herbicida. El montaje requiere de un sistema de riego abierto y cerrado manualmente por una llave de flujo, que será distribuido por medio de una manguera que desprende unas mangueras de un diámetro más pequeño y unos goteros respectivamente las cuales distribuyen la cantidad de caudal de riego individual necesario para cada planta ( se estableció 120 ml por planta día por medio) en la parte superior del montaje, se cuenta con un tanque de 20 litros que se llenará manualmente cada vez que se vaya a realizar el riego. Se necesitarán aproximadamente cinco litros para que se logre distribuir la cantidad de agua necesaria para cada planta y que su método por gravedad sea exitoso, dicho diseño fue realizado por estudiantes del semillero SINSa en áreas de suelos.



Figura 9. Montaje experimental

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño específico del montaje de cada sistema, el cual requiere de un sistema de riego abierto y cerrado manualmente por una llave de flujo, que será distribuido por medio de una manguera que desprende unas mangueras y unos goteros respectivamente, al igual que un sistema de recolección del lixiviado, para su posterior análisis. En la Figura 10 y Figura 11 podemos observar un diseño detallado de cada sistema.

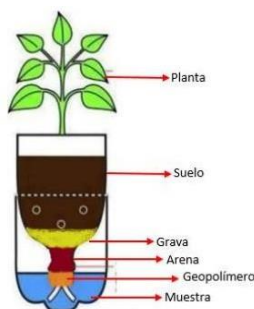


Figura 10. Montaje experimental  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Diseño de los filtros y aplicación del polímero

Cada montaje individual consta de un filtro localizado dentro de la tapa del recipiente empleado como unidad experimental. El filtro se encuentra conformado por una malla en la que reposan dos capas de papel filtro, sobre esta 1 g del polímero y luego una capa delgada de gravilla, según sea el montaje experimental algunas unidades se les aplicó o no el polímero en el filtro. Finalmente, la tapa tiene un agujero por donde el agua drenada pasa después de ser filtrada.



Figura 11. Montaje individual por planta  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. Sistema de recolección

El sistema de recolección del lixiviado consta de un recipiente de plástico que se encuentra en la parte superior de cada unidad experimental con el fin de obtener el lixiviado de cada riego para su posterior análisis. Las aguas generadas del lavado de los montajes experimentales, después de la aplicación del riego, se recolectaron del sistema, se traspasaron a bolsas plásticas tipo zip y se llevaron al laboratorio (Figura 13) en dónde se les realizó un seguimiento de los parámetros de pH, conductividad eléctrica y concentraciones del ion amonio a través del uso de un electrodo de ion selectivo. Cabe resaltar, el respectivo montaje se dejará a disposición de otro investigador para continuar con el seguimiento de análisis de otros parámetros. Por ende, las plantas continuaran en sus respectivos montajes y se desecharan de manera adecuada que no intervenga en el medio, aquellas que no sobrevivan a la aplicación del glifosato. En la Figura 12 se muestra el sistema de recolección de lixiviados, esto con el fin de detallar el procedimiento.



Figura 12. Sistema de recolección del lixiviado  
Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Toma de muestra lixiviados suelo y agua  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.7. Seguimiento del montaje experimental

Una vez realizado el montaje experimental (unidades o botellas + suelo + planta + aplicación del herbicida), se realizó el riego constante tres veces a la semana de 120 ml por unidad. El agua obtenida en cada botella o unidad producto de la percolación, fue recolectada para su posterior análisis en el laboratorio de suelos para los parámetros pH, conductividad, oxígeno disuelto, amonio y nitratos.

En la **Fase III**, se determinan los porcentajes de remoción de amonio en las aguas de lavado por medio de la aplicación de un polímero. Con los resultados obtenidos durante la etapa de seguimiento del montaje experimental, se determinaron los porcentajes de remoción de amonio.

El método a utilizar para la medición de amonio es el electrodo selectivo de amonio el cual consta de un electrodo diseñado para medir concentraciones del ion amonio, la membrana ubicada en la parte inferior del electrodo aplicándolo en el agua lixiviada generada por cada planta.

Los datos obtenidos, se desarrollaron unas tablas tabuladas, esto permitió dar pie a las gráficas que permiten ver el comportamiento de los compuestos.

Se realizaron los análisis de los resultados que se obtuvieron y se calcularon los porcentajes de remoción de amonio para finalmente realizar la evaluación ambiental de la aplicación del polímero teniendo en cuenta las características y cambios al transcurso del montaje experimental. Otros parámetros de seguimiento a medir son pH, oxígeno disuelto, conductividad, y nitritos.

Los porcentajes de remoción para los parámetros de seguimiento a los sistemas experimentales, se estimaron teniendo en cuenta la fórmula 1:

$$\text{porcentaje de remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Fórmula 1. Porcentaje de remoción  
Fuente: Elaboración propia

*Donde:*

C<sub>i</sub> = Concentración de la prueba blanco a determinado tiempo, mg/l

C<sub>f</sub> = Concentración de la prueba con polímero a determinado tiempo, mg/l.

## 5. Resultados

**Fase I. Se analizaron las variaciones de las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y bioorgánicas del suelo en estudio, con la aplicación del plaguicida.**

Los resultados están divididos y organizados por sistemas: sistema 1 (Suelo arenoso), sistema 2 (Materia orgánica) y sistema 3 (Suelo arenoso + materia orgánica).

### 5.1. Determinación propiedades físicas iniciales y finales del suelo en estudio

En el suelo se encuentran una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire), su adecuada relación determina la capacidad de hacer crecer las plantas y dar la suficiente disponibilidad de nutrientes; dichos componentes determinan una serie de propiedades físicas o mecánicas del suelo (textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, etc).

## 5.2. Textura por el método de Bouyoucos

Para la aplicación del método del hidrómetro estandarizado según norma ASTM-152H.

Este es un proceso por el cual la densidad de la suspensión es medida por un hidrómetro a diferentes tiempos, de acuerdo con la velocidad de caída de las partículas, la que está en relación a su diámetro.

En el procedimiento por el método de Bouyoucos se tomó una muestra del suelo a implementar en nuestra siembra que era una mezcla entre *compost* (generado por el jardín de la UPB) junto con *arena*. Se realizaron dos lecturas una de 40 segundos y otra de 2 horas, para las dos muestras, en la tabla 7 se adjuntaron los datos iniciales y finales de cada una de ellas.

Es con estos datos que se puede obtener la textura del suelo en donde se tomaron las muestras, esta se determina por medio de ecuaciones sencillas que da el resultado en porcentaje de las arcillas, arenas y limo.

A continuación, se muestra en la *fórmula 2*, las fórmulas respectivas para hallar el porcentaje de arena, arcilla y limo según corresponda.

$$\begin{aligned} \% \text{Arena} &= 100 - \frac{1 \text{ lectura corregida. } 40'' \times 100}{pm} \\ \% \text{Arcilla} &= \frac{2 \text{ lectura. } 2 \text{ horas} \times 100}{pm} \\ \% \text{Limo} &= 100 - (\% \text{Arena} + \% \text{Arcilla}) \\ Pm &= \text{peso de la muestra en gramos} \end{aligned}$$

Fórmula 2. Fórmulas de porcentaje de arena, limo y arcilla

Fuente: Manual de laboratorio de análisis de suelos UPB

La textura inicial del material utilizado para el primer sistema no se determinó al ser un material 100% arenoso. De igual manera, para el caso de la materia orgánica (sistema 2), este análisis no

se realizó debido a que en el caso de materiales orgánicos no aplica este tipo de determinación ya que sólo se analizan cantidades porcentuales de arena, limo y arcilla y la materia orgánica no corresponde a ninguna de ellas. Por este motivo la textura únicamente se realizó para el material producto de la combinación del suelo arenoso y la materia orgánica (sistema 3), presentado en la tabla 7.

Tabla 7. Determinación método de Bouyoucos inicial del sistema 3

DETERMINACIÓN METODO DE BOYUCOS, MUESTRA INICIAL						
MUESTR A	Lectura a los 40 segundos			Lectura a las 2 horas		
	Hidrómetro	Termómetro	Hidrómetro corregido	Hidrómetro	Termómetro	Hidrómetro corregido
1	45	28	3,08	42	25	2,0
2	42	26	2,36	41	25	2,0
DETERMINACIÓN METODO DE BOYUCOS, MUESTRA FINAL						
MUESTR A	Lectura a los 40 segundos			Lectura a las 2 horas		
	Hidrómetro	Termómetro	Hidrómetro corregido	Hidrómetro	Termómetro	Hidrómetro corregido
1	42	28	3,08	35	24	2,64
2	35	28	3,08	34	24	2,64

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7 muestra el reporte de resultados obtenidos en la determinación de textura del suelo en el sistema 3 tanto al inicio como al final del experimento. Para la determinación de hidrómetro corregido se tuvo en cuenta la tabla de correcciones para el hidrómetro a diferentes temperaturas (IHOBE, 2012)

### 5.3. Tablas de resultados: Textura por el método de Bouyoucos

Tabla 8.1 Determinación *método de Bouyoucos inicial del sistema 3*

MUESTRA INICIAL	CONTENIDO DE LOS SEPARADOS			CLASE TEXTURAL
	% ARENA	%LIMO	%ARCILLA	
SISTEMA 3	58,08%	43,75%	1,83%	Moderadamente gruesa: Suelos francos con dominio de arena

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.2 Determinación *método de Bouyoucos final del sistema 3*

MUESTRA FINAL	CONTENIDO DE LOS SEPARADOS			CLASE TEXTURAL
	% ARENA	%LIMO	%ARCILLA	
SISTEMA 3	61,05%	37,64%	1,31%	Moderadamente gruesa: Suelos francos con dominio de arena

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en las tablas 7.1 y 7.2, los datos obtenidos de la experimentación al inicio y al final del experimento fueron resultados parejos en cuanto a su clase textural, clasificando el suelo del sistema 3 como un suelo moderadamente grueso (F) (USDA, 2015) convirtiéndolo en un suelo con alta permeabilidad y alta porosidad.

#### 5.3.1. Densidad real.

Para la aplicación de la densidad real se tuvo en cuenta la normativa NTC 5350.

En la Densidad real se determinan la fracción de sólidos del suelo (mineral y orgánica), en esta no se considera la fase líquida y gaseosa; en su fase inicial y final de las tres muestras (*se realizó un triplicado para mejores resultados*) para su densidad se determina por medio del peso específico del suelo sobre volumen de los sólidos, es así como se obtiene cada uno de los resultados.

Se realizan tres muestras iniciales y tres muestras finales de las muestras a los tres sistemas:

(*Sistema 1: Suelo arenoso; Sistema 2: compost; Sistema 3: compost + Arena*) al terminar todo el procedimiento del proyecto experimental, estas muestras son necesarias para el procedimiento de densidad real de nuestro suelo a utilizar donde las muestras iniciales revelan resultados coherentes ya que no se encontraron datos altos que diferencien uno del otro.

- **SISTEMA 1**

**Tabla 10.** *Densidad real inicial*

Medidas	DENSIDAD REAL INICIAL g/cm <sup>3</sup>		
	Arena	Arena	Arena
<b>Volumen de agua</b>	25	25	25
<b>Peso del suelo</b>	25	25	25
<b>Volumen desplazado</b>	4	5	5,9
<b>Densidad real</b>	2,26	5	4,23
<b>DENSIDAD REAL PROM</b>		3,83	
<b>Desviación St</b>		±1,41311712	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11.** *Densidad Real Final.*

Medidas	DENSIDAD REAL INICIAL g/cm <sup>3</sup>		
	Arena	Arena	Arena
<b>Volumen de agua</b>	25	25	25
<b>Peso del suelo</b>	28	28	28
<b>Volumen desplazado</b>	4	5	5,9
<b>Densidad real</b>	7	5,6	4,7
<b>DENSIDAD REAL PROM</b>		5,7	
<b>Desviación St</b>		±1,15902258	

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 8 y 9 se puede observar los resultados de la densidad real de la Arena, con esto se puede determinar la cantidad de partículas que tiene el suelo, y así poder observar la cantidad de porosidad que contiene, estos resultados muestran que el suelo al final del experimento presentó un aumento de la densidad real que pudo ser producto de la presión y posterior compactación al aplicar un lavado constante. Este resultado indica al suelo del sistema 1 con una %porosidad total

<31 clasificándolo como suelo compacto con baja materia orgánica Se observa que la densidad real promedio entre la inicial y la final tiene una baja desviación estándar.

- **SISTEMA 2:**

**Tabla 12.** *Densidad real inicial.*

Medidas	DENSIDAD REAL INICIAL g/cm <sup>3</sup>		
	Compost	Compost	Compost
<b>Volumen de agua</b>	25	25	25
<b>Peso del suelo</b>	30	30	30
<b>Volumen desplazado</b>	9	8	8
<b>Densidad real</b>	3,3	3,75	3,75
<b>DENSIDAD REAL PROM</b>		3,6	
<b>Desviación St</b>		±0,259807	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.** *Densidad Real Final.*

Medidas	DENSIDAD REAL INICIAL g/cm <sup>3</sup>		
	Compost	Compost	Compost
<b>Volumen de agua</b>	25	25	25
<b>Peso del suelo</b>	30	30	30
<b>Volumen desplazado</b>	9	5	6
<b>Densidad real</b>	3,3	6	5
<b>DENSIDAD REAL PROM</b>		4,7	
<b>Desviación St</b>		±1,36503968	

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 10 y 11 se observan resultados similares al del experimento realizado en el sistema 1 en dónde los valores de la densidad real al final del período de experimentación son más altos que los valores iniciales determinados.

- **SISTEMA 3:**

**Tabla 14.** *Densidad real inicial.*

Medidas	DENSIDAD REAL INICIAL g/cm <sup>3</sup>		
	Arena+Compost	Arena+Compost	Arena+Compost
Volumen de agua	25	25	25
Peso del suelo	20	20	20
Volumen desplazado	8	9	9,2
Densidad real	2,5	2,22222222	2,17391304
DENSIDAD REAL PROM		2,3	
Desviación St		±0,17785762	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15.** *Densidad Real Final*

Medidas	DENSIDAD REAL INICIAL g/cm <sup>3</sup>		
	Arena+Compost	Arena+Compost	Arena+Compost
Volumen de agua	25	25	25
Peso del suelo	30	30	30
Volumen desplazado	8	9	9,2
Densidad real	3,75	3,33333333	3,26086957
DENSIDAD REAL PROM		3,41	
Desviación St		±0,29297326	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 y 13 se puede observar los resultados de la densidad real al inicio y al final del experimento. Se observa un comportamiento similar al de los anteriores sistemas en donde la densidad real al final del experimento es superior a los valores iniciales, probablemente debido a la presión ocasionada por el riego constante.

### 5.3.2. Humedad gravimétrica.

Para determinar la humedad gravimétrica se tuvo en cuenta la normativa I.N.E.V-122-07

La humedad gravimétrica es la cantidad de agua en el suelo con relación al suelo seco, y se obtienen los resultados por medio de una ecuación básica donde se restan la muestra de suelo húmedo y el peso de muestra seca dividiendo esta por la misma muestra seca, multiplicando este resultado por el 100%, de esa manera se obtiene el % Humedad gravimétrica tanto inicial o la final.

La Humedad Gravimétrica (W) Es la relación entre la masa de la fracción líquida y la masa de la fracción sólida. Indica por ejemplo que un suelo con 20% de humedad contiene 20 gr de agua en 100 gr de suelo.

- **SISTEMA 1:**

Tabla 16. Humedad gravimétrica inicial Arena

HUMEDAD GRAVIMETRICA INICIAL - W			
<b>Peso del crisol</b>	30	30	30
<b>Peso del crisol + muestra húmeda</b>	75	80	90
<b>Peso de la muestra húmeda</b>	45	50	60
<b>Peso del crisol+ muestra seca</b>	58	50	55
<b>Peso de la muestra seca</b>	28	30	30
<b>% Humedad gravimétrica</b>	60,71	66,6	98,8
<b>Humedad Gravimétrica Promedio</b>		75,3	
<b>Desviación St</b>		±20,5035777	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Humedad gravimétrica Final Arena

HUMEDAD GRAVIMETRICA FINAL - W			
<b>Peso del crisol</b>	30	30	30
<b>Peso del crisol + muestra húmeda</b>	70	75	85
<b>Peso de la muestra húmeda</b>	40	45	55
<b>Peso del crisol+ muestra seca</b>	60	65	62
<b>Peso de la muestra seca</b>	30	35	32
<b>% Humedad gravimétrica</b>	33,3	28,5	71.8
<b>Humedad Gravimétrica Promedio</b>		44.5	
<b>Desviación St</b>		±12,8628665	

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 14 se observa que en promedio al inicio del experimento los valores del sistema 1 fueron de 75,3 W con una desviación de  $\pm 20,50$  indicando una buena disponibilidad de humedad, lo que garantiza una buena actividad microbiana. Al final del experimento en la tabla 15, los valores

de humedad disminuyeron con relación a la variación y aumento de la densidad real, ocasionando la pérdida de porosidad y consecuente disminución de la humedad en el suelo.

- **SISTEMA 2**

Tabla 18. Humedad gravimétrica inicial Compost

HUMEDAD GRAVIMETRICA INICIAL - W			
<b>Peso del crisol</b>	30	30	30
<b>Peso del crisol + muestra húmeda</b>	92	90	98
<b>Peso de la muestra húmeda</b>	62	65	68
<b>Peso del crisol+ muestra seca</b>	70	75	70
<b>Peso de la muestra seca</b>	40	45	40
<b>% Humedad gravimétrica</b>	55	44,4	70
<b>Humedad Gravimétrica Promedio</b>		56,4	
<b>Desviación St</b>			±12,8628665

Fuente: Elaboración propia

La tabla 16 proyecta resultados donde en promedio, al inicio del experimento del sistema 2 fueron de 56,4 W con una desviación estándar de ±12,86 indicando una baja disponibilidad de humedad a comparación con la inicial del sistema 1.

Tabla 19. Humedad gravimétrica Final Compost

HUMEDAD GRAVIMETRICA INICIAL - W			
<b>Peso del crisol</b>	30	30	30
<b>Peso del crisol + muestra húmeda</b>	90	90	95
<b>Peso de la muestra húmeda</b>	60	60	65
<b>Peso del crisol+ muestra seca</b>	65	70	70
<b>Peso de la muestra seca</b>	35	40	40
<b>% Humedad gravimétrica</b>	71,42	50	62,5
<b>Humedad Gravimétrica Promedio</b>		61,3	
<b>Desviación St</b>			±10,759746

Fuente: Elaboración propia

Los resultados finales obtenidos en la tabla 17 del sistema 2 indican un promedio de HG de 61,3 W con una desviación estándar de ±10,75, es decir, hubo una disminución en cuanto a la humedad

y porosidad en este sistema. Según la relación entre la porosidad y la densidad podemos clasificar al suelo del sistema dos como un suelo disgregable con alta materia orgánica. (Franco, relación entre la porosidad y la densidad aparente, 1998) Es decir, con alto contenido de nutrientes y una filtración menor a la de arena.

- **SISTEMA 3:**

Tabla 20. Humedad gravimétrica inicial Arena+Compost

HUMEDAD GRAVIMETRICA INICIAL - W			
<b>Peso del crisol</b>	30	30	30
<b>Peso del crisol + muestra húmeda</b>	80	80	80
<b>Peso de la muestra húmeda</b>	50	60	40
<b>Peso del crisol+ muestra seca</b>	65	65	65
<b>Peso de la muestra seca</b>	35	35	35
<b>% Humedad gravimétrica</b>	42,85	71,4285	14,285
<b>Humedad Gravimétrica Promedio</b>		42.85	
<b>Desviación St</b>		±28,57	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Humedad gravimétrica Final Arena+Compost

HUMEDAD GRAVIMETRICA INICIAL - W			
<b>Peso del crisol</b>	30	30	30
<b>Peso del crisol + muestra húmeda</b>	70	80	95
<b>Peso de la muestra húmeda</b>	40	50	65
<b>Peso del crisol+ muestra seca</b>	75	85	80
<b>Peso de la muestra seca</b>	35	35	35
<b>% Humedad gravimétrica</b>	14,28571429	42,85714	85,714285
<b>Humedad Gravimétrica Promedio</b>		47,61	
<b>Desviación St</b>		±35,9524	

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los resultados iniciales de la tabla 18 proyectan un promedio de 42,85 W y un promedio final de 47,61 W de humedad gravimétrica, es decir, hubo un claro aumento de humedad en cuanto al sistema 3 donde encontramos arena+ compost y una desviación estándar inicial de ±28,57 y una final de ±35,95. Según la relación entre la porosidad y densidad en este sistema, se puede clasificar como un suelo compacto con baja materia orgánica.

## 5.4. Determinación propiedades químicas

Los procesos que se dan en el suelo son de gran importancia para el intercambio iónico, junto con la fotosíntesis, estos dos procesos son de vital importancia para las plantas, ya que en su totalidad arrojan de fracción de arcilla y materia orgánica.

### 5.4.1. Conductividad eléctrica.

Para la conductividad se tomó una muestra inicial (*muestra 1*) y una final (*muestra 2*) al suelo en estudio antes y después de la aplicación del montaje experimental.

- **SISTEMA 1:**

Tabla 22. Conductividad inicial y final arena

Conductividad INICIAL		Conductividad FINAL	
Muestra	Valor de conductividad en agua	Muestra	Valor de conductividad en agua
1	16 dS/cm	1	15 dS/cm
2	15 dS/cm	2	15 dS/cm
Promedio	15,5 dS/cm	Promedio	15
Desviación St	±8,962	Desviación St	±8,66

Fuente: Elaboración propia

La conductividad eléctrica en el sistema 1, como se observa en la tabla 20 mantiene un promedio inicial de 15,5 dS/cm y un promedio final de 15 dS/cm con una desviación estándar mayor de ±8,0 por consecuente, el suelo arenoso presente en este sistema presenta una salinidad fuerte. Los excesos de sales solubles presentes pueden impedir el desarrollo normal de la planta es decir que es un suelo apto solo para cultivos muy resistentes (SSDS, 1993)

- **SISTEMA 2:**

Tabla 23. Conductividad inicial y final compost (sistema 2)

Conductividad INICIAL		Conductividad FINAL	
Muestra	Valor de conductividad en agua	Muestra	Valor de conductividad en agua
1	9 dS/cm	1	12,3 dS/cm
2	10,5 dS/cm	2	13,8 dS/cm
Promedio	9,75 dS/cm	Promedio	13 dS/cm
Desviación St	±5,67	Desviación St	±7,57

Fuente: Elaboración propia

La conductividad eléctrica del sistema 2 en promedio inicial fue de 9,75 dS/cm y promedio final fue de 13 dS/cm con una desviación final de ±7,57 clasificando al suelo del sistema 2 como suelo de salinidad media. Este suelo puede contener iones en la solución como calcio, magnesio, sodio, potasio entre otros. (SSDS, 1993)

- **SISTEMA 3**

Tabla 24. Conductividad inicial y final arena+ compost

Conductividad INICIAL		Conductividad FINAL	
Muestra	Valor de conductividad en agua	Muestra	Valor de conductividad en agua
1	16 dS/cm	1	14 dS/cm
2	18 dS/cm	2	12,5 dS/cm
Promedio	17 dS/cm	Promedio	13,25 dS/cm
Desviación St	±9,86	Desviación St	±7,68

Fuente: Elaboración propia

La conductividad eléctrica en el sistema 3 tiene un promedio inicial de 17 dS/cm y un promedio final de 13,25 dS/cm indicando que el suelo del sistema 3 inicio con una salinidad extrema y al finalizar el experimento según los resultados indicaron ser un suelo con salinidad fuerte. (SSDS, 1993) Su desviación estándar inicial fue de  $\pm 9,86$  y al finalizar el experimento obtuvo una desviación estándar de  $\pm 7,68$ .

#### 5.4.2. Análisis del pH.

Para la determinación de pH se tuvo en cuenta la normativa I.N.V.E.- 131-13

El pH que se encuentran en siguientes tablas, es una de las propiedades físico-químicas más importante que tiene los suelos, ya que de este depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, su solubilidad y la actividad de dichos microorganismos que se encargan de mineralizar la materia orgánica. Para la clasificación de los suelos según el valor del pH se tuvo en cuenta (Agriculture) USDA.

- **SISTEMA 1:**

Tabla 25. pH inicial y final Arena

pH INICIAL		pH FINAL	
Muestra	Valor de pH en Agua	Muestra	Valor de pH en Agua
1	6,0	1	6,2
2	6,5	2	6,0
Promedio	6,25	Promedio	6,1
Desviación St	$\pm 3,617$	Desviación St	$\pm 3,523$

Fuente: Elaboración propia

El pH inicial del sistema 1 tiene un promedio de 6,25 con una desviación estándar de  $\pm 3,617$  y un promedio final de 6,1 con una desviación estándar de  $\pm 3,523$  como se muestra en la tabla 23. Según estos resultados, el suelo arenoso del sistema 1 obtuvo un pH neutro el cual se conservó hasta finalizar el experimento. Según estos resultados, no es un suelo tóxico, hay una mejora en la actividad biológica bacteriana y con una alta disponibilidad de nutrientes.

- **SISTEMA 2:**

Tabla 26. pH inicial y final compost

Muestra	pH INICIAL		pH FINAL	
	Muestra	Valor de pH en Agua	Muestra	Valor de pH en Agua
1	1	7,0	1	7,2
2	2	7,22	2	6,5
Promedio	Promedio	7,11	Promedio	6,85
Desviación St	Desviación St	$\pm 4,10$	Desviación St	$\pm 3,976$

Fuente: Elaboración propia

A diferencia del suelo arenoso, el sistema 2 obtuvo un resultado promedio inicial de pH de 7,11 con una desviación estándar de  $\pm 4,10$  clasificándolo como un suelo ligeramente alcalino, es decir con una mínima disponibilidad de fósforo, boro, hierro y zinc (Jaramillo, 2002), al finalizar el experimento, el promedio final fue de 6,85 con una desviación estándar de  $\pm 3,976$  donde el suelo fue clasificado como un suelo neutro (USDA).

- **SISTEMA 3:**

Tabla 27. pH inicial y final Arena + compost

Muestra	pH INICIAL	Muestra	pH FINAL
	Valor de pH en Agua		Valor de pH en Agua
1	6,46	1	6,36
2	6,54	2	6,54
Promedio	6,5	Promedio	6,45
Desviación St	±3,752	Desviación St	±3,698

Fuente: Elaboración propia

El pH del sistema 3 como muestra la tabla 3, obtuvo un pH promedio de 6,5 es decir, ligeramente ácido, con una desviación estándar  $\pm 3,752$  y un promedio final de 6,45 con una desviación estándar de  $\pm 3,698$ .

### 5.4.3. Análisis Microbiológicos.

A partir de una toma de muestra de suelos para la aplicación de los análisis microbiológicos antes y después del montaje experimental, se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 14) adjuntados a continuación, en donde se observa el comportamiento de los microorganismos antes de la aplicación del herbicida y después del montaje experimental.

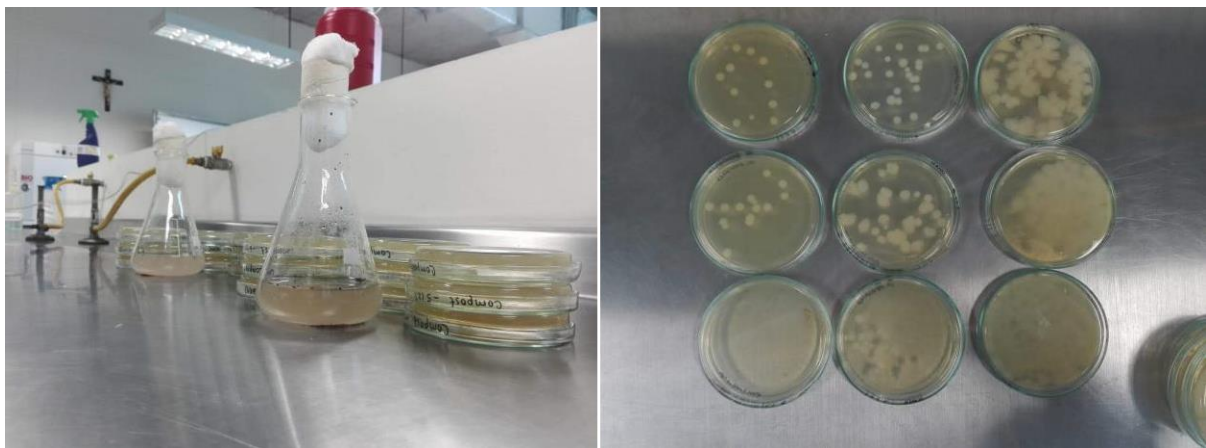


Figura 14. Toma de muestra lixiviados suelo y agua antes del montaje experimental

Fuente: Elaboración propia

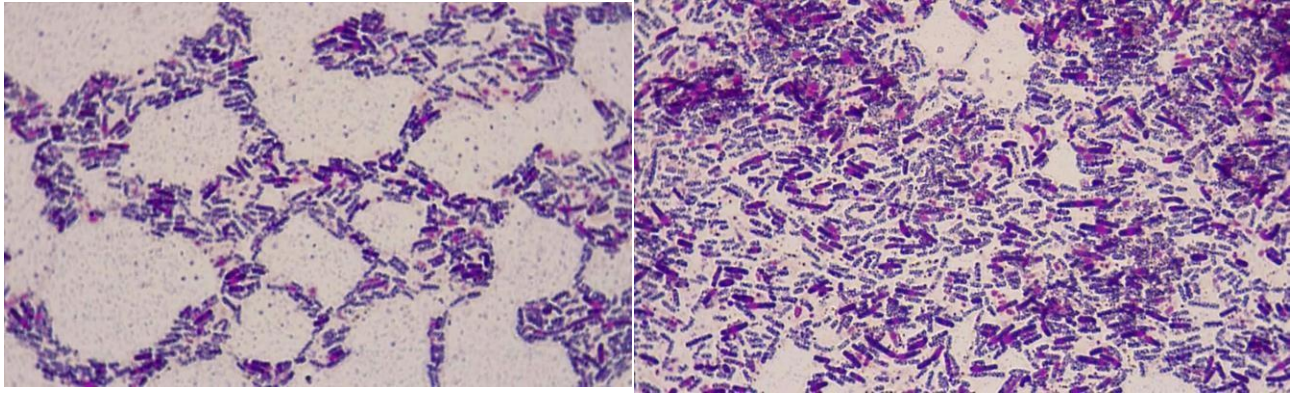


Figura 15. Toma de microscópica de las muestras antes del montaje experimental  
Fuente: Elaboración propia

Se realizó mediante una siembra líquida en medio agar nutritivo con nueve diluciones ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$ ) para cada muestra. La primera dilución ( $10^{-1}$ ) se preparó mezclando un gramo de la muestra en nueve mL de agua destilada. A partir de esta, se realizaron diluciones decimales seriadas, tomando un mL de la dilución anterior mezclándolo con nueve mL de agua destilada hasta obtener la dilución  $10^{-9}$ .

Se sembraron mediante siembra líquida las diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  con el objetivo de realizar un mejor conteo microbiano. El conteo se realizó a las 24 horas después de la realización de la siembra.

Tabla 28. Procedimiento de microorganismos Inicial de muestra de compost y la muestra de Suelo Arenoso

Muestras	Duplicado	Colonias por Diluciones			Resultados UFC/g de suelo	Observaciones	Reporte Final
		10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>			
Sistema 2: Compost	1		8	20	20x10 <sup>4</sup>	Solo la muestra resaltada se puede tener en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 20x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
Sistema 1: Suelo arenoso	1	11	29	X	= (29+27/2) =28x10 <sup>5</sup>	Solo la muestra resaltada se puede tener en cuenta. Los valores resultados promedian.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 20x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
	2	15	27	X			

Fuente: Elaboración propia

El promedio de disolución de las muestras de compost y suelo arenoso muestran la cantidad de colonias de 10<sup>-5</sup> y 10<sup>-4</sup> contemplando la cercanía de los números. En el caso de los resultados microbiológicos del suelo arenoso en la Tabla 2, se puede resaltar que hay una alta cantidad de microorganismos presentes a comparación del compost, realizándose un duplicado para verificar los resultados obtenidos. Cabe resaltar que los residuos generados por esta aplicación de pesticida serán desechados en diferentes recipientes para su disposición final como residuo peligroso.

Como paso dos, se tomaron las muestras al final y las muestras que realmente lograron destacar unos resultados evidentes fue la muestra de *compost* y la muestra de *Suelo+Arena* como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 29. Procedimiento de microorganismos finales de la muestra de compost y la muestra de Suelo arenoso

Muestras	Colonias por Diluciones			Resultados UFC/g de suelo	Observaciones	Reporte Final
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>			
Compost	10	15	28	28x10 <sup>4</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 28x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
Suelo arenoso	22	3	X	33x10 <sup>5</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 33x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.

Fuente: Elaboración propia

De igual forma, se realiza el mismo procedimiento microbiológico a las muestras con contenido de glifosato, NH<sub>4</sub> y polímero con el objetivo de observar los cambios microbiológicos llegados a generar en por el mismo herbicida o el NH<sub>4</sub> agregado.

Como se muestra en la tabla 28, el glifosato se destaca por generar una cantidad de colonias bacterianas de carácter aeróbico mesofílico. Sin embargo, los componentes ácidos del mismo herbicida detienen o retrocede de alguna forma la ampliación de estas bacterias. Según la tabla 28 se puede resaltar el en la dilución 10<sup>-4</sup>, se obtiene un alto desarrollo de colonias bacterianas, sin embargo, la adicción del glifosato y arena comparada con los resultados de la tabla 27 indica una disminución de estos microorganismos, a diferencia cuando esta junto con el compost, ya que mantiene una estabilidad de estas mismas.

Tabla 30. Procedimiento de microorganismos al finalizar de la muestra de compost + glifosato, arena + glifosato, arena+compost+glifosato

Muestras	Colonias por Diluciones			Resultados UFC/g de suelo	Observaciones	Reporte Final
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>			
Compost+gly	12	X	10	12x10 <sup>6</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 12x10 <sup>6</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
Arena+gly	18	25	27	27x10 <sup>4</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 27x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
Arena+compost+Gly	10	21	22	22x10 <sup>4</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 22x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.

Fuente: Elaboración propia

En el caso de NH<sub>4</sub> aplicado, las muestras microbiológicas mostradas en la Tabla 29, arrojan unos resultados de menor cantidad de colonias demostrando que las bacterias no son de carácter nitrificantes, es decir, que absorben energía por la oxidación de los compuestos inorgánicos del nitrógeno, sin embargo, existen otros caracteres microbiológicos que permiten la presencia de las otras colonias.

Tabla 31. Procedimiento de microorganismos al finalizar de la muestra de compost +arena+ glifosato + NH<sub>4</sub>, compost+glifosato+ NH<sub>4</sub>, arena + glifosato+ NH<sub>4</sub>

Muestras	Colonias por Diluciones			Resultados UFC/g de suelo	Observaciones	Reporte Final
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>			
Compost+Are na+gly+NH <sub>4</sub>	X	12	14	14x10 <sup>4</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 14x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
Compost+ gly+NH <sub>4</sub>	8	9	12	12x10 <sup>4</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 12x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
Arena+gly+N H4	X	15	18	18x10 <sup>4</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 18x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Procedimiento de microorganismos al finalizar de la muestra de compost+ arena+ glifosato+NH<sub>4</sub>+polímero, Compost+glifosato+NH<sub>4</sub>+polímero, arena+glifosato+NH<sub>4</sub>+polímero

Muestras	Colonias por Diluciones			Resultados UFC/g de suelo	Observaciones	Reporte Final
	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>			
Compost+Ar ena+gly+NH 4+Polimero	2	X	6	6x10 <sup>4</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 6x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.
Compost+ gly+NH <sub>4</sub> +po limero	4	X	X	4x10 <sup>6</sup>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 4x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra.

Arena+gly+						
NH <sub>4</sub> +polimero	4	5	10	<b>10x10<sup>4</sup></b>	Los valores de la muestra resaltada se toman en cuenta.	Bacterias mesofílicas aerobias en placa en agar, incubadas por 24h.a 451.0°C: 10x10 <sup>4</sup> UFC/G(O/ML) de muestra

Fuente: Elaboración propia

El promedio de disolución de las muestras de compost y suelo de muestras en la cantidad de colonias de  $10^{-5}$  y  $10^{-4}$  contemplando la cercanía de los números. La importancia del compostaje es que es generado por múltiples organismos descomponedores que comen, trituran, degradan y digieren las células y las moléculas que componen la materia orgánica, permitiendo que el suelo se llene de nutrientes esenciales para que su desarrollo sea efectivo.

Los microorganismos son de vital importancia en los procesos biogeoquímicos del suelo, el microbiota de este mismo, es el responsable de la ejecución y control de sus funciones esenciales como la descomposición de materia orgánica, producción de humus, el reciclaje de los nutrientes, el flujo de energía, solubilización de nutrientes esenciales en el suelo como lo es el fósforo, la producción de compuestos complejos que causan la agregación del suelo, descomposición del xenobióticos y el control de plagas y enfermedades (Siquiera, 2002).

Como se ha demostrado en los resultados anteriores, hay una clara descomposición por parte del herbicida empleado donde las bacterias mesofílicas y demás microorganismos son afectadas por los componentes tóxicos presentes en el glifosato, sin embargo, como conclusión, se puede decir que en las muestras con contenido de *glifosato y compost* y el recuento de microorganismos tanto finales como iniciales, indican la baja tasa de probabilidad de que los microorganismos presentes puedan adaptarse o resistir a los diferentes componentes tóxicos presentes en el herbicida empleado. Sin embargo, a comparación del suelo *Arenoso*, el compost muestra una probabilidad más alta de resistencia a estos componentes.

La intervención del NH<sub>4</sub>, genera una disminución de microorganismos en las muestras finales, tanto de *compost* como en el suelo *arenoso* indicando un bajo rendimiento en el procedimiento de descomposición, considerando así, que la degradación del glifosato en la parte microbiológica mantiene baja calidad de nutrientes para mantener un medio apto para las bacterias mesofílicas y demás microorganismo.

#### 544. Análisis de materia orgánica.

Para la determinación de materia orgánica se tuvo en cuenta la normativa NTC 5403.

Esta propiedad es de gran importancia ya que mejora las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica. La determinación de la materia orgánica fue realizada únicamente para la mezcla de suelo arenoso y materia orgánica debido a que el suelo arenoso no tenía ningún contenido significativo de material orgánico y la materia orgánica está compuesta en un 100% por compost.

En la tabla 32 en las tres muestras de suelo muestra los tres porcentajes de Materia Orgánica, y esto da a conocer que tiene un %>4,20, indicando que es un suelo extremadamente rico en M. Orgánica, es decir cuenta con buenos indicadores de sustentabilidad.

Tabla 33. Materia orgánica inicial de los sistemas 1, 2, 3.

MATERIA ORGANICA SUELO INICIALES					
	Peso crisol	Peso muestra	Peso crisol+suelo	Crisol + suelo(de)	%M. O
Sistema 1	56,8	20	76,8	76,5	6,8
Sistema 2	51,4	20	71,4	71,2	7,2
Sistema 3	56	20	76	76	6,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31 se evidencia los resultados obtenidos de la materia orgánica inicial en los suelos utilizados, como se muestra, el % de M.O en el suelo arenoso comparado con el compost, es más bajo debido a su bajo contenido de nutrientes y la combinación de estos dos, revelan un resultado considerablemente alto de materia orgánica indicando que es un suelo rico en nutrientes para cualquier tipo de cultivo agrícola.

## **5.5. Parámetros de seguimiento**

### **5.5.1. Conductividad.**

Las gráficas de conductividad muestran el comportamiento de la conductividad eléctrica del suelo en las muestras tomadas, es una herramienta más, que se puede utilizar para comprender mejor la variabilidad del suelo en el campo, este es caracterizado por medir su salinidad.

Este cambia continuamente, dependiendo del contenido de humedad del suelo. Por lo tanto, para la estandarización, todas las mediciones de CE deben tomarse en el mismo contenido de humedad.

La cantidad de corriente que pasa a través de la solución del suelo. La conductividad eléctrica de dicha solución es proporcional al contenido de sales disueltas y ionizadas contenidas en esa solución. El valor de CE es influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas.

A mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. Es importante considerar que todos los fertilizantes inorgánicos son sales y por lo mismo tienen un efecto directo sobre la CE. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la CE traerá como consecuencia una disminución de rendimiento.

• **SISTEMA 1:**

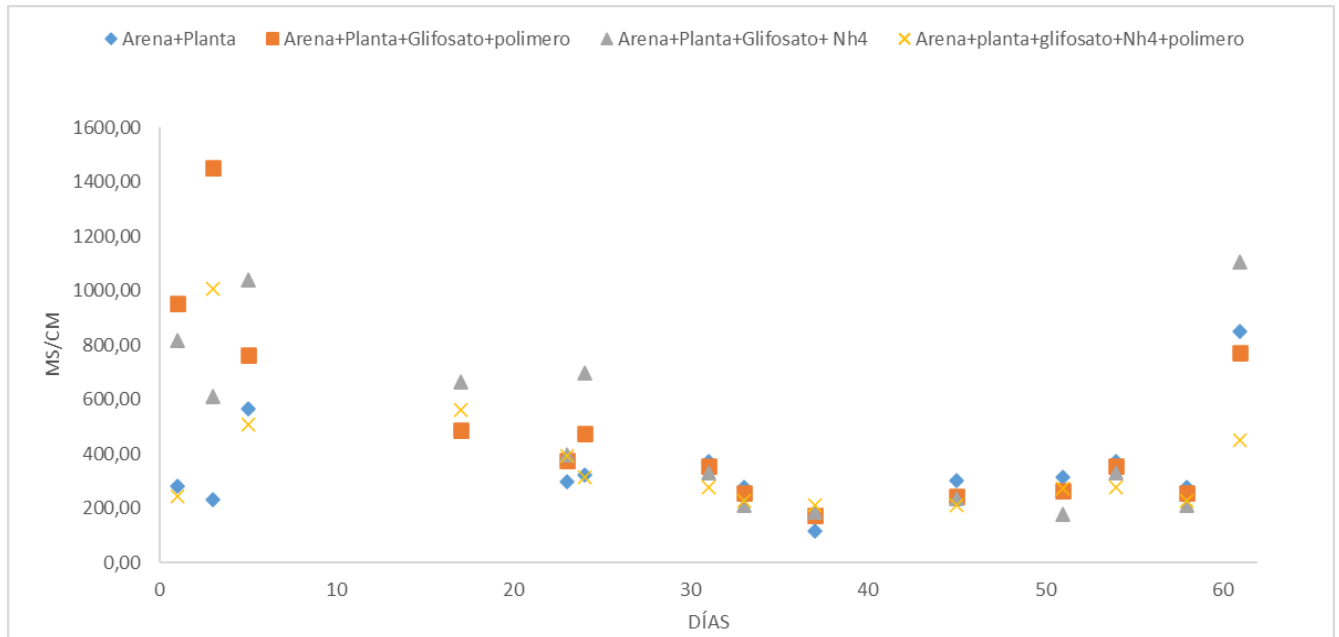


Figura 16. Suelo Arenoso- Propiedad Química –Conductividad-sistema 1  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 de dicho sistema se observan cuatros componentes Arena+Planta, Arena+Planta+Glifosato, Arena+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, Arena+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+polimero, representado cada uno con un color específico que permite ver de manera más eficaz su comportamiento en los días que se realizaron las muestras. Se observa que entre los días 8 y 16 no hay evidencia de resultados debido a un error en la toma de muestras. Dicha gráfica muestra el componente Arena+Planta+Glifosato con unos de los picos más altos en el día 3 de 1451μS/cm y con un resultado final de 771 μS/cm. Podríamos decir que al inicio contaba con una gran cantidad de salinidad proveniente del herbicida los cuales pueden incrementar la presencia de sales con sus iones respectivos provocando mayores resultados de conductividad eléctrica y originando problemas de salinización. Tomando como control a las muestras de A+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub> (color gris) Vs A+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>+Polimero (color amarillo) debido a la simulación de riego aplicado en los diferentes sistemas, las sales fueron disueltas y lavadas constantemente con

esta agua de riego evidenciando un disminución en general de la conductividad, en cuanto a la aplicación del glifosato y la adición de amonio aumento la conductividad eléctrica al inicio del seguimiento experimental. También se observa que la utilización del polímero disminuye drásticamente la conductividad eléctrica en las primeras fechas demostrando la efectividad del polímero en estas condiciones y en este suelo. También se podría decir que este polímero puede ser utilizado en la remoción de otro tipo de cationes. El uso del amonio y glifosato como fertilizantes y plaguicidas químicos, pueden llegar a generar una mayor presión en el recurso suelo, lo que va produciendo el incremento de salinización del mismo.

- **SISTEMA 2:**

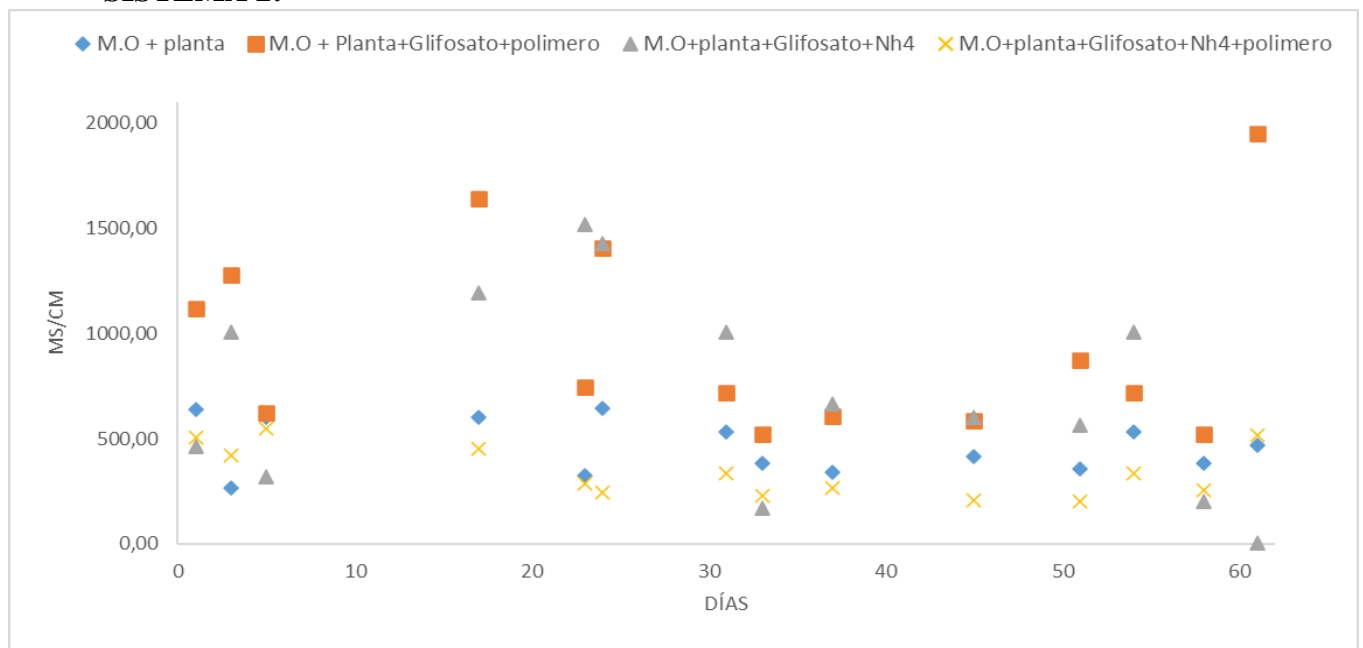


Figura 17. Materia Orgánica- Propiedad Química -Conductividad-Sistema 2  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17 de dicho grupo se observan cuatro componentes M.O + planta, M.O + Planta+Glifosato, M. O+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, M.O+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>+polimero, representado cada uno con un color específico. El comportamiento de la muestra de M.O + Planta+Glifosato llega a resaltar más por la variabilidad de resultados al transcurso del tiempo

experimentado como se muestra en la gráfica. En el día 61 finaliza con un pico alto de 1948  $\mu\text{S}/\text{cm}$  demostrando que, al ocurrir un aumento de conductividad, hay un aumento de iones, es decir, mayor salinidad en el suelo.

En cuanto a las otras muestras, se muestra una alta variabilidad de resultados de los cuales no se pueden suministrar un análisis concreto de estos mismos.

- **SISTEMA 3:**

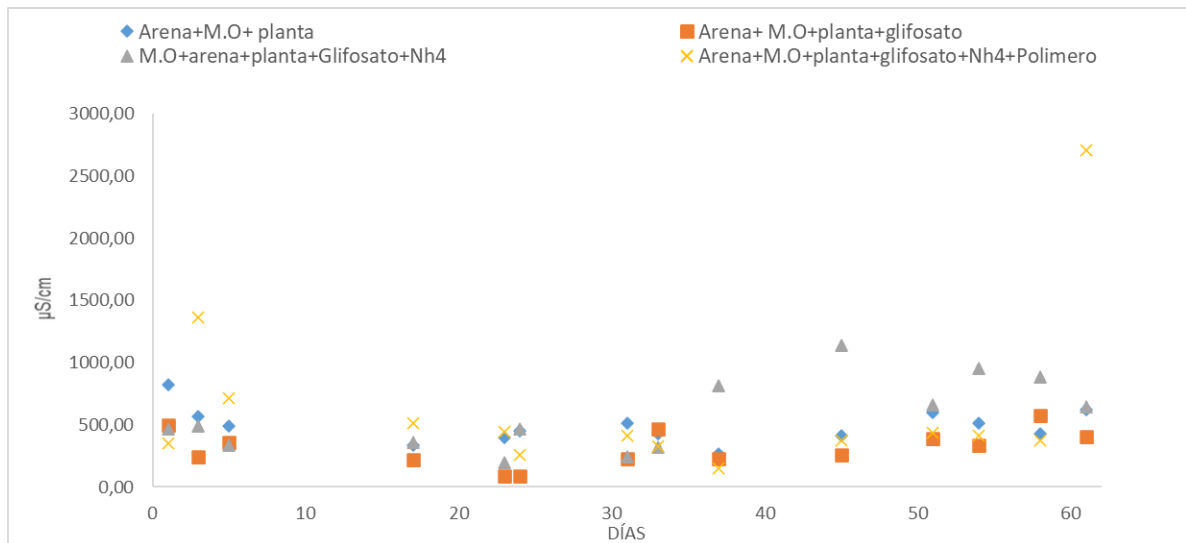


Figura 18. Suelos arenosos + materia orgánica-Propiedad Química -Conductividad-Sistema 3

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 de dicho grupo se observan cuatro componentes Arena+M.O.+planta, Arena+M.O.+planta+glifosato, M.O.+arena+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>,

Arena+M.O.+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+Polimero, representado cada uno con un color específico.

Arena+M.O.+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+Polimero en el día 61 arrojó una CE de 2706  $\mu\text{S}/\text{cm}$

alcanzando un alto nivel de salinidad. Mo+A+Planta+glifosato+NH<sub>4</sub> (Color gris) vs

Mo+A+Planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+polímero (color amarillo), hay una disminución notoria en cuanto

a la conductividad eléctrica donde dichos valores bajos indican una categoría no salina

demonstrando la actividad efectiva del polímero utilizado.

## 5.52. Propiedad química pH.

Se realizaron 12 muestras de cada ítem agregado y arrojan el siguiente análisis: La Figura 19 muestra el comportamiento del pH en los 61 días que se hicieron la toma de muestras con rangos superiores a 4,5, con un máximo de 8,45, pasando de un suelo muy ácido a alcalino, con un suelo francoarenoso, moderadamente grueso. El pH de la planta hierbabuena que es la especie escogida para este proyecto, da a conocer algo importante y es que no hay relación directa entre el pH del suelo y el pH de la planta, sino que es un factor totalmente dependiente de los nutrientes que asimila y la transformación de sales.

### • SISTEMA 1:

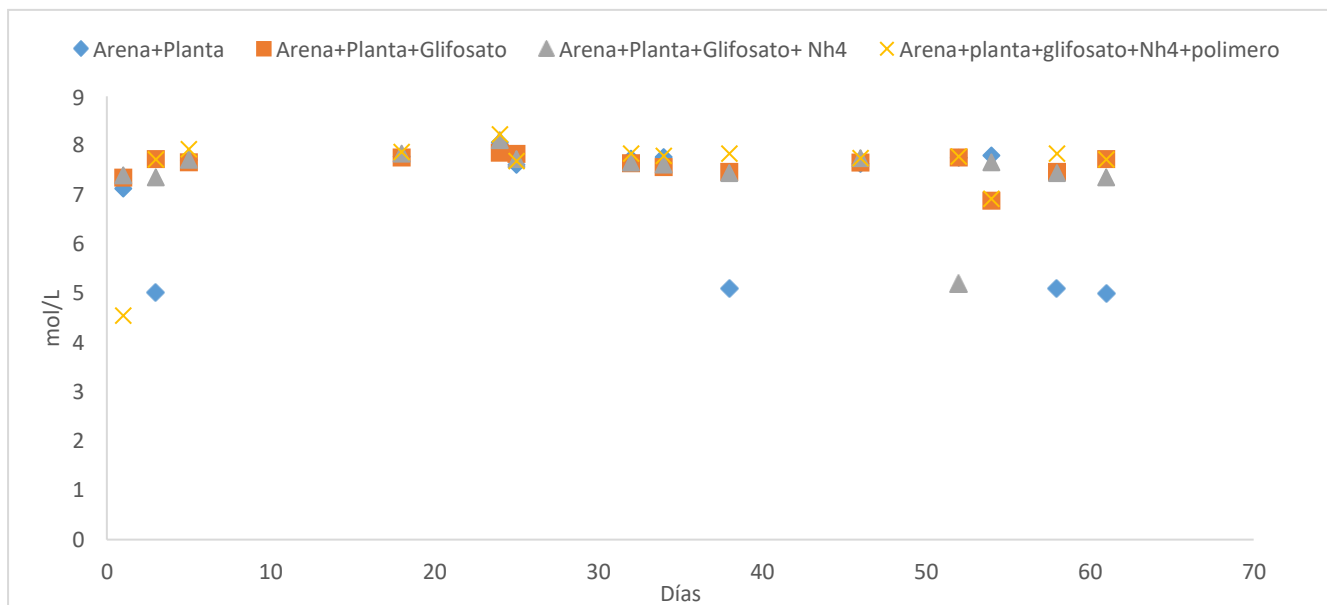


Figura 19. Suelo arenoso- Propiedad Química pH-Sistema 1  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 de dicho sistema se observan cuatro componentes Arena+Planta, Arena+Planta+Glifosato, Arena+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, Arena+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+polímero, representado cada uno con un color específico que permite ver de manera más eficaz su comportamiento en los días que se realizaron las muestras. Arena+Planta permaneció en la con un

pH fuertemente ácido con un rango inicial de 5,02 ya que la adición del glifosato y el amonio tiende a basificar el suelo, es decir, a aumentar el pH. También se observa que la adición del polímero no influye en la regulación del pH y puede ser a que la cantidad del polímero no es suficiente para retener todos los iones que se generan de la muestra causantes de un descenso del pH o iones  $H^+$  (el polímero no es apto para retener los iones  $H^+$ , o puede ser que su superficie ya esté cargada con otros iones y no retenga los  $H^+$ ) para esta propiedad química.

Arena+planta+ $NH_4$ +polimero+glifosato vs A+planta+ $NH_4$ +glifosato el comportamiento de las dos muestras en la tabla se observa un pH constante, es decir las dos muestras tanto la que tiene polímero y la que no, manejan un movimiento similar, la diferencia es que junto con el polímero, al finalizar el experimento, se evidencia un pH más alto de 7,71 clasificándolo con un pH alcalino y sin polímero, obtuvo un pH ligeramente alcalino.

En cuanto al pH se resalta que el suelo sin glifosato mantiene siempre un mayor valor en comparación al suelo con adición de glifosato. El fósforo, como fosfato, llega a actuar en vínculo con la cantidad de hidrogeniones ( $H^+$ ), es decir, la acidez del suelo. Es por eso, que, al transcurso del experimento, estas muestras sin glifosato se mantuvieron en un pH moderadamente básico.

- **SISTEMA 2:**

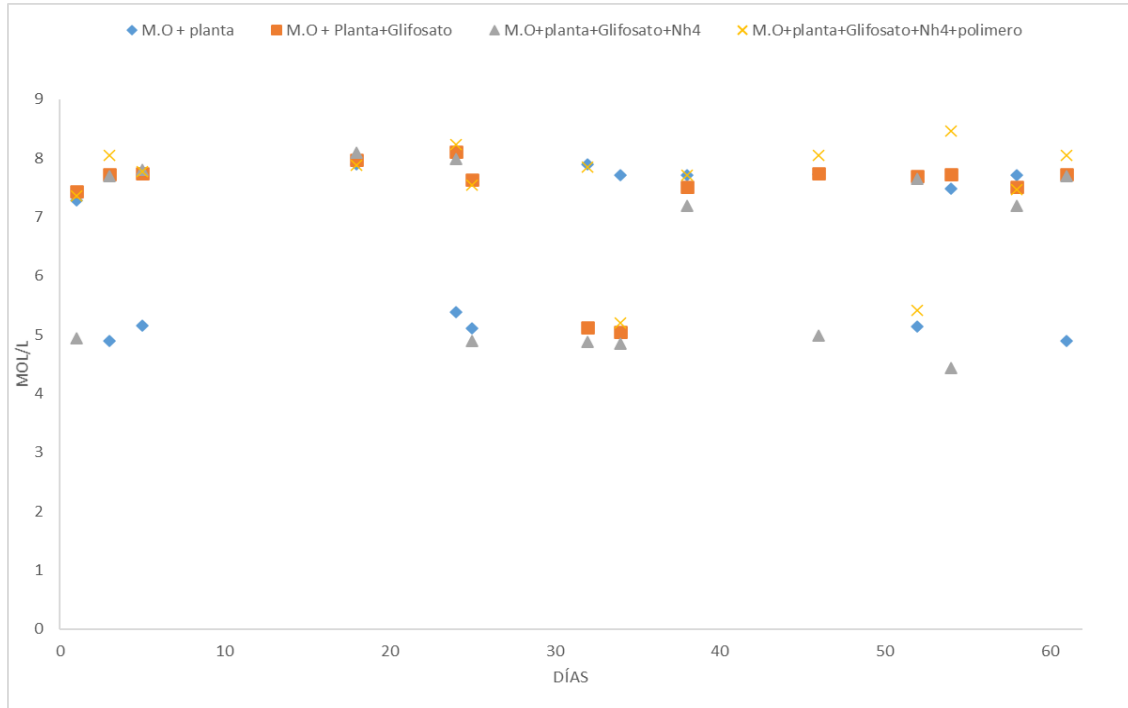


Figura 20. Materia Orgánica - Propiedad Química pH-Sistema 2  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20 del sistema 2 se observan cuatro componentes, la variación del pH con la muestra de arena + glifosato+ amonio es mucho mayor que para la muestra con solo MO. Luego se encuentran las muestras de MO+ arena + planta y M. O+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub> las cuales evidencian un pH de 4,8, y 4,3 es decir, un pH extremadamente ácido, ya que el glifosato es considerado como un fuerte componente de adsorción del suelo y se caracteriza por su rápida degradación según el tipo de suelo. También se puede decir que existe una gran variabilidad aportada por la adición de la MO y las diferentes interacciones entre los iones de la solución del suelo, así como la presencia de diferentes reacciones químicas que hacen que varíe la composición de la solución del suelo contantemente

- **SISTEMA 3:**

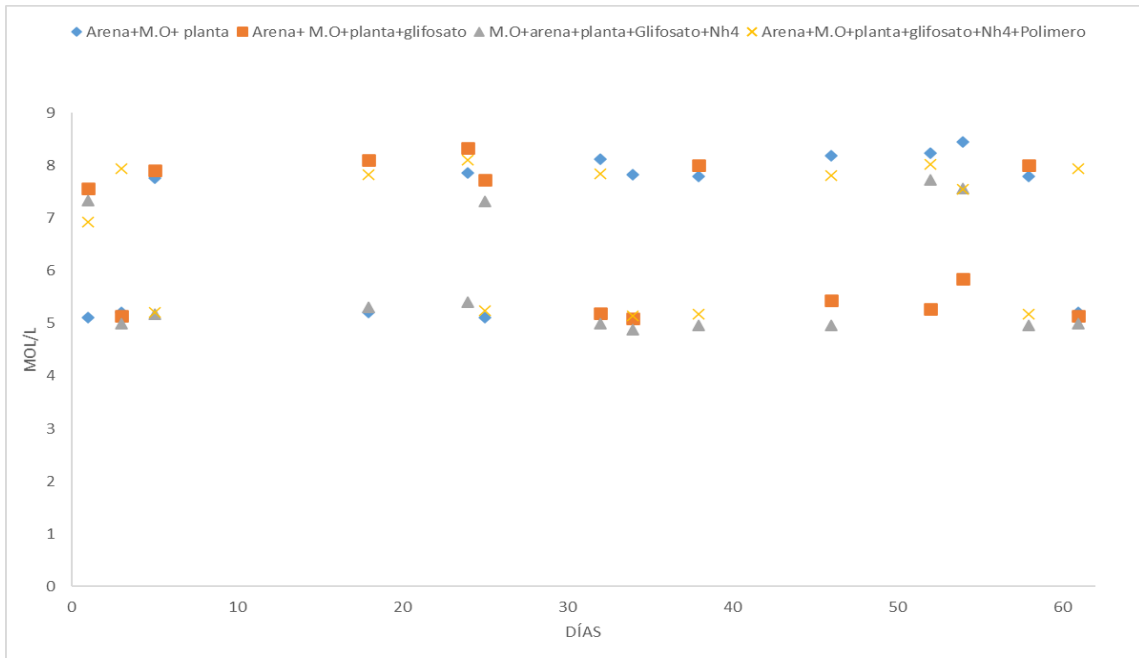


Figura 21. Suelo arenoso + Materia Orgánica- Propiedad Química pH-sistema 3  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 21 de dicho sistema se observan cuatro componentes Arena + M.O + planta, Arena + M.O + planta + glifosato, M.O + arena + planta + Glifosato + NH<sub>4</sub>, Arena + M.O + planta + glifosato + NH<sub>4</sub> + Polímero, representado cada uno con un color específico. La muestra patrón, M. O+ A+ P+ Glifosato+ NH<sub>4</sub> mantuvo un pH en general fuertemente ácido hasta finalizar el experimento, a pesar de los diferentes picos en una que otra muestra, probablemente por problemas técnicos o alteraciones del mismo glifosato comparado con la muestra de A+ M. O+P+ Glifosato+ NH<sub>4</sub> + Polímero, la cual se mantuvo en un pH moderadamente alcalino al transcurso del experimento. Este sistema demuestra cómo la adición de materia orgánica aumenta la capacidad de amortiguación del pH en el suelo, desestabilizado por la adición de glifosato y amonio.

### 553. Oxígeno Disuelto.

- **SISTEMA 1:**

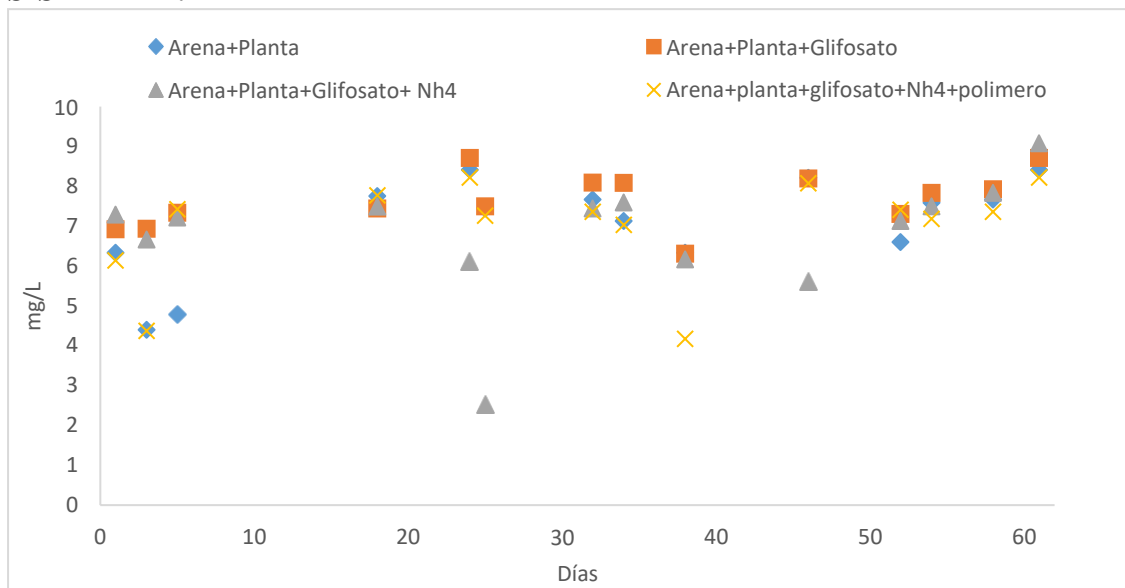


Figura 22. Arena-Oxígeno Disuelto-Sistema 1  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 22 de dicho sistema se observan cuatro componentes Arena Planta, Arena+Planta+Glifosato, Arena+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, Arena+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+polímero, representado cada uno con un color específico.

Arena+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, dicho componente muestra en la Figura 22 un comportamiento de OD de 2,5mg/l, intervalo de oxígeno disuelto 0,1 a 20 mg/L (ppm) indicando niveles altos de oxígeno disuelto, es decir, esta propiedad en este sistema no se vio afectado de manera drástica por el glifosato. El control de muestras, A+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+polimero vs A+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>, la comparación de estas dos muestras permite observar dos comportamientos, el primero A+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+polímero termina con una cantidad de 8,12mg/l mostrando un nivel alto de OD indicando que tiene mejor calidad de agua en el suelo, al contrario de A+planta+glifosato+NH<sub>4</sub> que muestra valores inferiores, indicando ser un medio no

adecuado para la supervivencia de organismos por su valores bajos de OD, es decir el polímero llega a proporcionar una mejor estabilidad y calidad en su Oxígeno disuelto.

- **SISTEMA 2:**

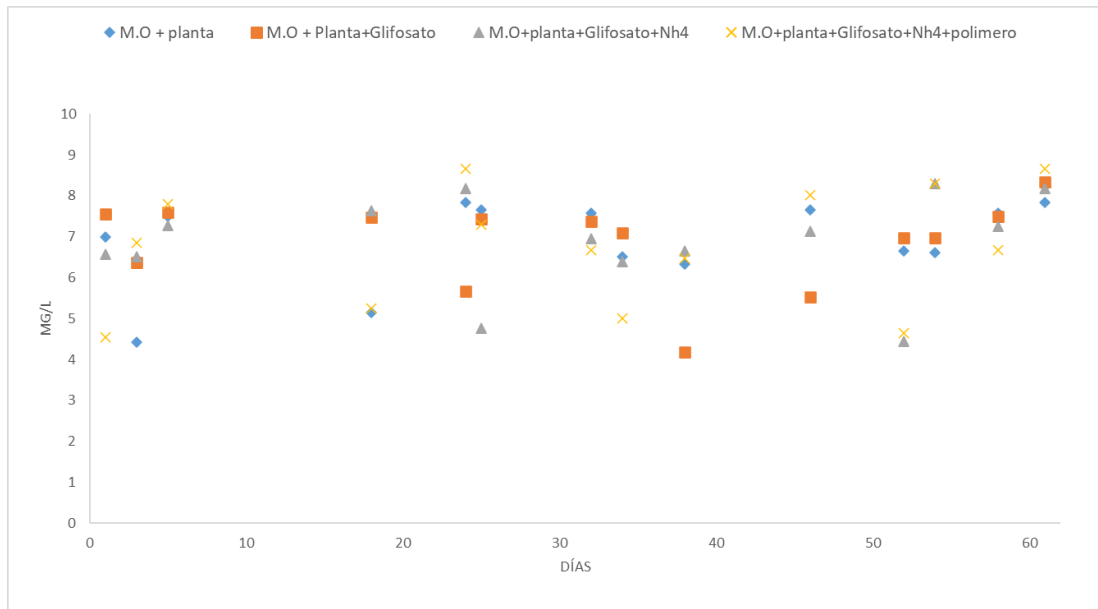


Figura 23. Materia Orgánica - Oxígeno Disuelto-Sistema 2  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 23 de dicho grupo se observó cuatro componentes M.O + planta, M.O + Planta+Glifosato+polímero, M. O+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, M. O+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>+polimero, representado cada uno con un color específico. No se observó diferencia en el aumento del OD cuando se adiciona el glifosato y amonio por los nutrientes que se desarrollaron en el suelo en este sistema, generando una estabilidad general en cuanto a esta propiedad. El comportamiento de cada uno de los componentes de las muestras es de manera proporcional, es decir que en el transcurrir de los días se realizaron las muestras y sus comportamientos no varían en OD, ya que se encuentran entre los mismos rangos de 4, 5 a 8,6 mg/l, esto se debe al funcionamiento de los estabilizadores, concentraciones que se le aplicaron a dichas muestras.

- **SISTEMA 3:**

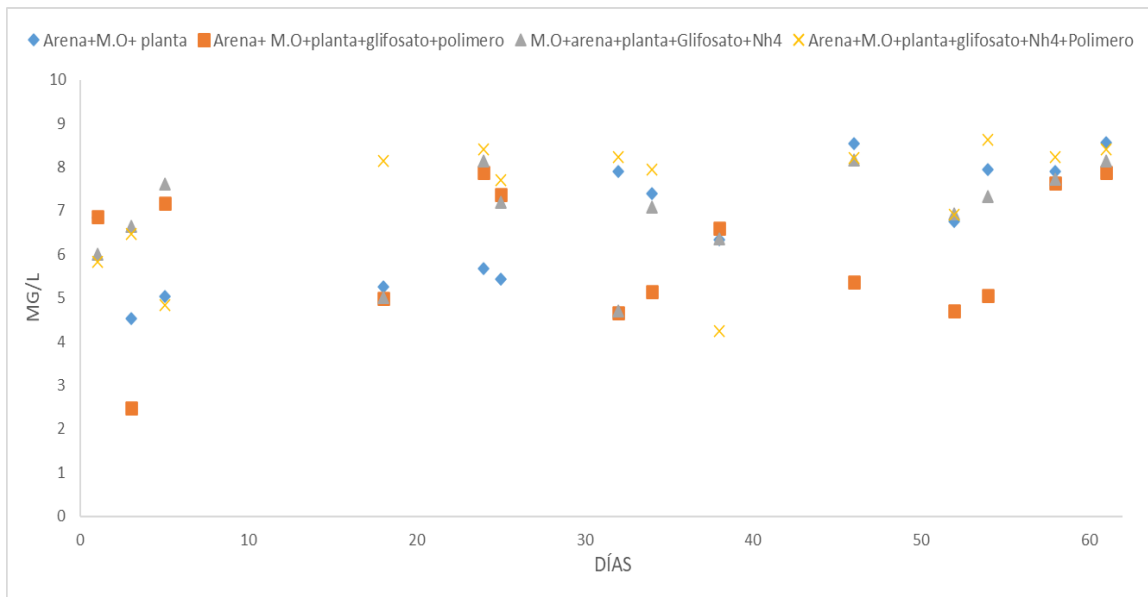


Figura 24. Suelo arenoso + materia orgánica Oxígeno Disuelto-Sistema 3  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 de dicho grupo se observó cuatro componentes Arena+M.O+planta, Arena+, M.O+planta+glifosato, M.O+arena+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, Arena+M.O+planta+glifosato+NH<sub>4</sub>+P olimero, representado cada uno con un color específico. El OD en este sistema nos muestra un comportamiento equilibrado es decir superior a 3 mg/l, eso quiere decir que se encontró con niveles altos de OD en cada una de las muestras tomadas. M.O+A+Planta+NH<sub>4</sub>+Glifosato vs M.O+A+Planta+Polimero+Glifosato+NH<sub>4</sub> siendo nuestras muestras patrón, en cuanto a la muestra con polímero evidencia tener mejores valores de oxígeno disuelto.

Para la etapa final, también se realizó los mismos procedimientos que permitieron encontrar la presencia de materia orgánica y de formas de vida animal (microorganismos, lombrices e insectos); al mirar esto, permite observar sus propiedades y estas son de gran importancia ya que mejoran las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica.

MATERIA ORGANICA SUELO FINALES					
	<b>PESO CRISOL</b>	<b>PESO MUESTR A</b>	<b>PESO CRISOL+SUEL O</b>	<b>CRISOL + SUELO(DE)</b>	<b>%M. O</b>
Sistema 1	50,1	18	68,1	67,7	6,5
Sistema 2	45,7	18	63,7	63,5	6,3
Sistema 3	43	18	61	61	5,8

Tabla 34. Materia orgánica suelo Finales

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizarse los respectivos cálculos para determinar el % de materia orgánica en los diferentes sistemas, en la tabla 32 se evidencian los resultados finales de estos y esto nos da a conocer que tiene un  $\% > 4,20$ , principalmente su resultado con un promedio de 6,2, en la tabla que ya está estipulada de TAVERA que da a conocer la clase según su contenido de materia orgánica, este se clasifica en MUY RICO indicando que es un suelo que cuenta con buenos indicadores de sustentabilidad y de vida animal (microorganismos, lombrices e insectos). Comparada con la tabla 31, se evidencia que la materia orgánica del sistema 2 disminuyó, pero la muestra del sistema 3 logró mantener de manera positiva su % de materia orgánica.

Además de esto, el clima ayuda a clasificar nuestra materia orgánica según el suelo y ya que los sistemas se encontraban en un clima templado. Junto a los resultados obtenidos se puede interpretar el porcentaje de materia orgánica con un contenido de MINERAL ALTO en general. (Franco, clasificación de la cantidad de materia orgánica con respecto al clima, 1998).

El aumento de materia orgánica en los sistemas, genera un efecto muy positivo para la estructura, porosidad, aireación, infiltración, drenaje, humedad, consistencia, erodabilidad entre otras

propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. A pesar de que el glifosato tiende a tener una capacidad de ataque nocivo para el suelo, los resultados han llegado a evidenciar que la materia orgánica presente en el suelo puede llegar a ser un amortiguador junto con el biopolímero, ya que puede recuperarse en el menor tiempo posible y generar que sus propiedades se reactiven de manera positiva.

**Fase III. Se determinó la influencia de la aplicación del plaguicida en la formación de amonio en aguas agrícolas.**

Se realizó un paso a paso de cada uno de los diseños para así mostrar cada uno de los procedimientos y no saltar los protocolos.

#### 554. Tomas graficas Amonio y Nitrato.

- SISTEMA 1**

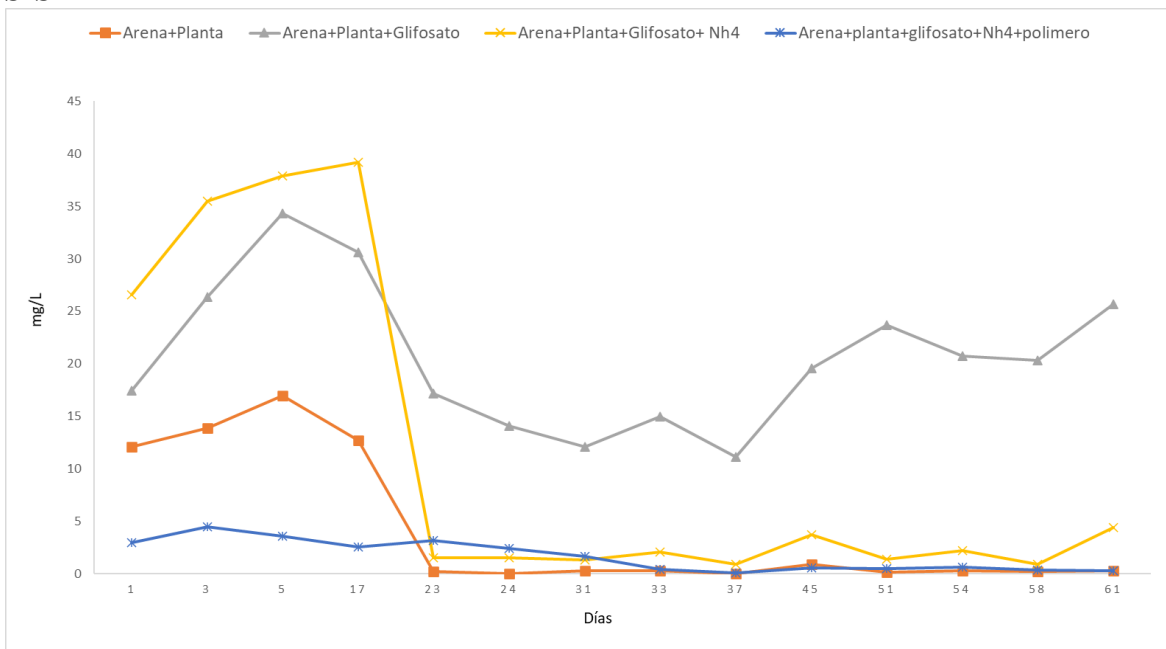


Figura 26. Suelos arenosos-Amonio –NH<sub>4</sub>-Sistema 1  
Fuente: Elaboración propia

Según la figura 26, en el desarrollo de la toma de resultados en el sistema 1, la muestra gris (con glifosato) muestra un contenido mayor de amonio que la muestra amarilla (con glifosato + NH<sub>4</sub>) revelando un comportamiento inexacto, lo que significaría que el efecto sinérgico del amonio sobre los herbicidas en este caso el glifosato, se encargó de acidificar el agua y de retener los carbonatos y las arcillas, dando como resultado una menor pérdida del glifosato tanto por la retención, disminución de coloides y carbonatos por no ionización del glifosato. En el componente Arena+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub> durante los días 1-2-5-1 muestra un resultado superior que llega a 39.2 debido a la retención del glifosato en el suelo, es a partir del día 23 donde se observó un descenso de este mismo, sin embargo, se conserva un equilibrio en el transcurso del experimento, comparándolo con Arena+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>+Polímero, el cual mantuvo una variable menor en el tiempo experimentado.

- **SISTEMA 2:**

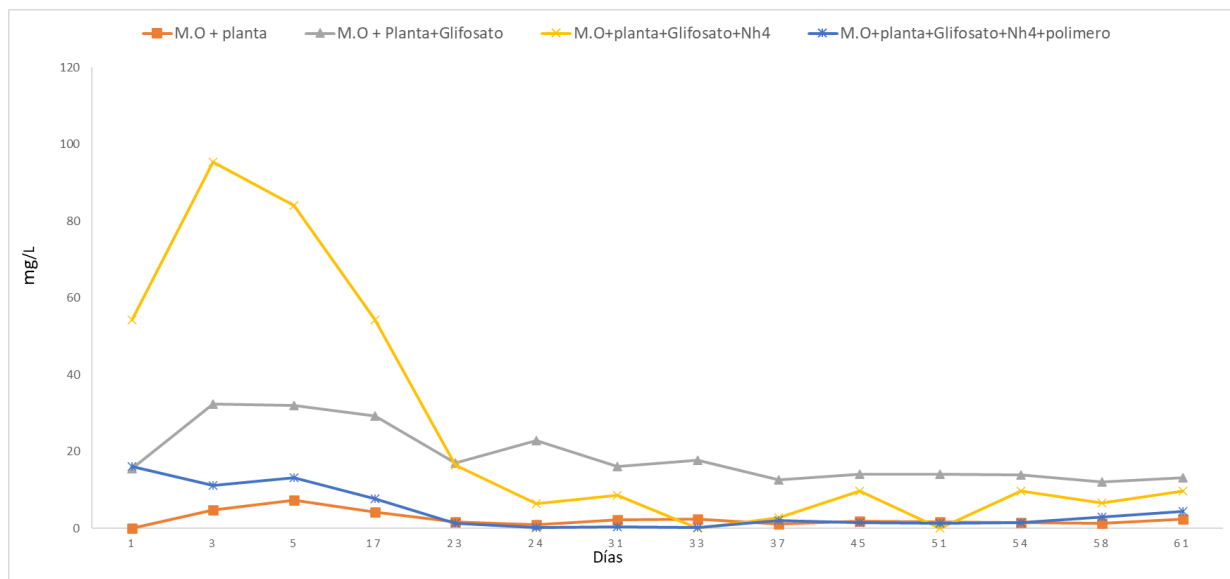


Figura 27. Materia Orgánica-Amonio –NH<sub>4</sub> -Sistema 2  
Fuente: Elaboración propia

Así como la toma de resultados de la muestra anterior, el sistema 2 también arrojó resultados con un efecto alterado mostrando que la muestra con solo glifosato tenga más amonio que a la muestra que se le adicionó amonio, durante los días 1-2-5-17 él fue arrojando un resultado desequilibrado y mostrando un análisis donde el componente M.O+Planta+Glifosato+NH<sub>4</sub>, donde del día ( 1-2-5-17), sigue teniendo pico alto, pero con una característica diferencial del anterior y es que dicha grafica maneja Materia Orgánica, la M.O es de gran importancia ya que evita la degradación de las partículas del suelo disminuyendo su erosión y manteniendo la humedad disponible.

En toda la figura a diferencia de Mo+planta+Glifosato+NH<sub>4</sub> que tuvo picos altos de comportamiento por la cantidad de amonio que contenía mezclado con el herbicida glifosato ocasionando una alteración en la muestra en un inicio, pero fue disminuyendo con el pasar de los días, es decir que el tiempo fue de ayuda a la hora de arrojar resultados ya que la concentración de amonio disminuyo un poco.

• **SISTEMA 3**

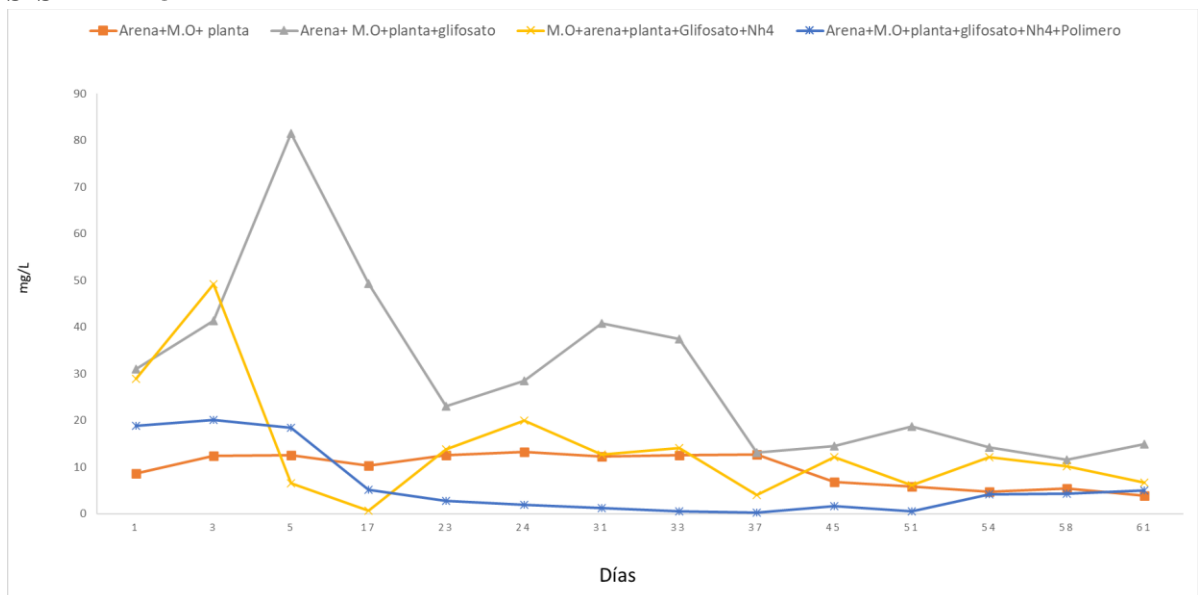


Figura 28. Suelos arenosos+ M. Orgánica -Amonio -NH<sub>4</sub> -Sistema 3  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 28 se observa una combinación de Arena y M.O en las muestras que han sido estudiadas, y es de gran evidencia que los dos componentes con mayores picos son las que tiene M.O+arena+planta+glisofato+NH<sub>4</sub> y Arena+M.O+Planta+Glisofato, pero la que tiene mayor crecimiento en toda la figura es la que contiene polímero y glifosato en su muestra , esto se debe a que el glifosato cumple su papel como herbicida y el polímero como neutralizador , si dicho herbicida se encuentra en suelos con cultivos, su toxicidad puede provocar el daño de estos , a pesar de tener un polímero más el amonio en su superficie, este actúa como una especie de carbón activado su suelo y cultivos tendrías pequeños daños que impiden el crecimiento y el desarrollo adecuado.

- **SISTEMA 1:**

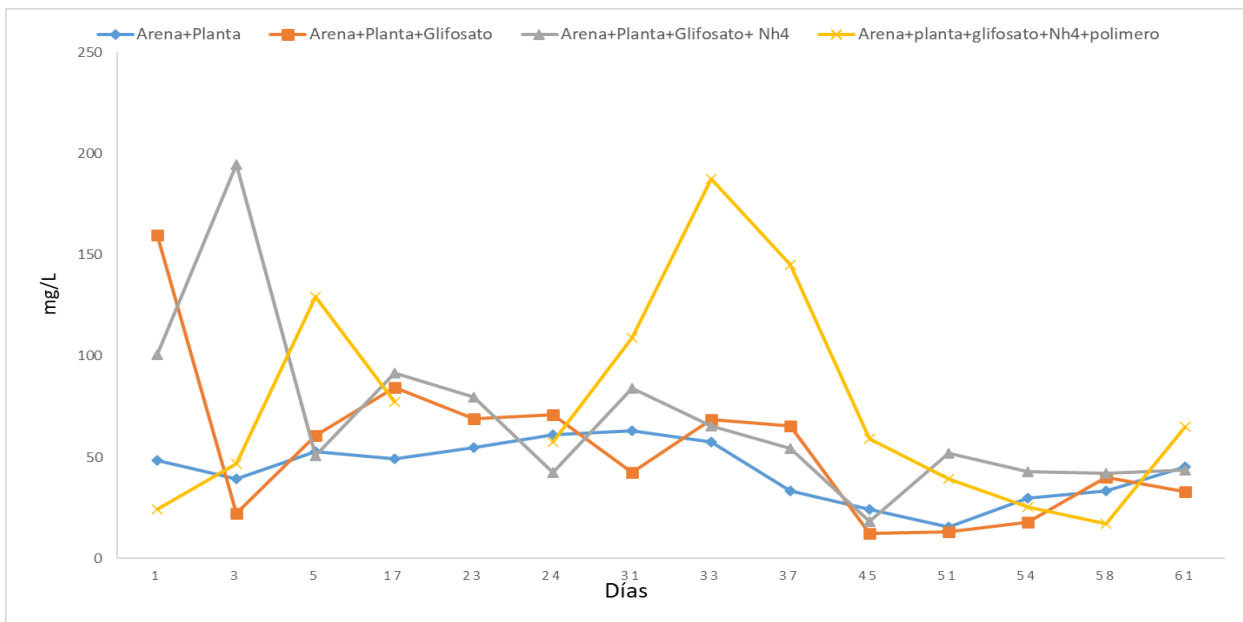


Figura 29. Suelo arenoso\_ Nitrato-NO<sub>3</sub>-Sistema 1  
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 29 los resultados de remoción de NO<sub>3</sub> no son muy claros, ya que los patrones de la figura muestran diferentes picos en los diferentes días en este sistema 1, por ende, se puede decir que no hay un resultado concreto de remoción de nitrato en este sistema. Es posible

que la toma de mediciones haya sido afectada por algún tipo de propiedad fisicoquímica del suelo o simplemente en la toma de datos.

- **SISTEMA 2:**

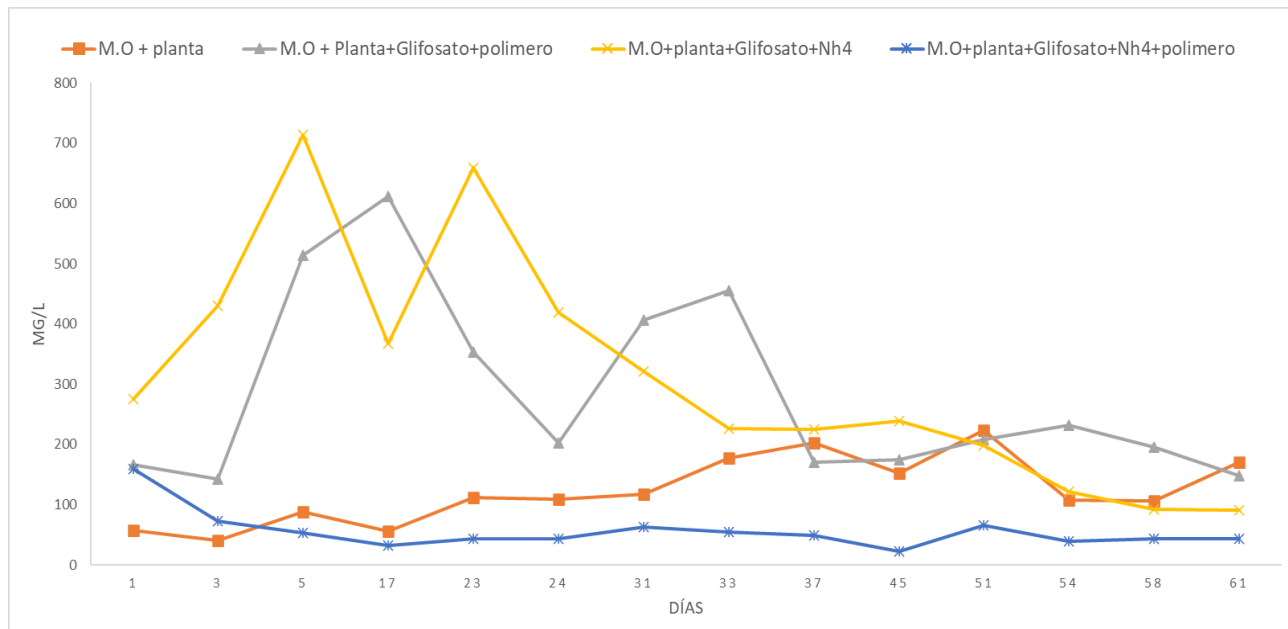


Figura 30. Materia Orgánica- Nitrato-NO<sub>3</sub>-Sistema 2  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 30 se identifica la diferencia entre mo+gly+amonio Vrs. mo+gly+amonio+polímero arrojando resultados de carácter significativos y se observa una alta remoción de NO<sub>3</sub>. El naranja es el control y se espera no obtener valores tan excelsos porque no hay adición de amonio o nitrógeno, sin embargo, sí hay presencia del nitrógeno en la materia orgánica. Este permite que ocurra diferentes reacciones de transformación dando a lugar la presencia de amonio si se comparan las curvas amarillas con la azul, es decir, el porcentaje de remoción que se puede calcular ahí por día de muestreo es realmente grande.

En el desarrollo de la toma de muestra para el análisis correspondiente, es posible observar un comportamiento impreciso ya que se ve que la curva azul está más abajo que la amarilla al inicio del montaje experimental, puede ser que el polímero se haya saturado y no permitió la posterior adsorción de más nitrato en su superficie ocasionando el aumento de las concentraciones.

Es así como en las gráficas de nitrato no se concluye un análisis claro en el comportamiento de dicho compuesto, ya que los puntos arrojados en el transcurso de las muestras tomadas los días correspondientes varían mucho y no es clara su lectura en el momento de la interpretación analítica.

- **SISTEMA 3:**

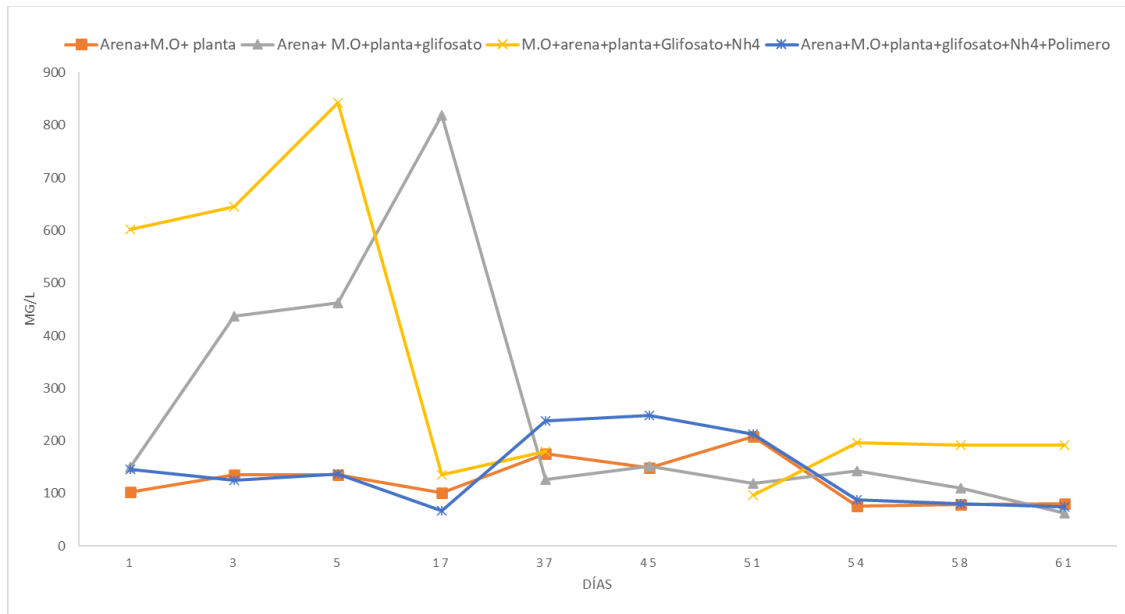


Figura 31. Suelos arenosos+ M. Orgánica- Nitrato-NO<sub>3</sub> -Sistema 3  
Fuente: Elaboración propia

La figura 31 del sistema 3, arrojó unos resultados menores de remoción de NO<sub>3</sub> que el sistema 2. Si se compara la curva amarilla con la curva azul se puede decir que en los días 1-17 el polímero actúa de manera efectiva junto con la materia orgánica, pero a partir de esas fechas las curvas se mantienen entre los 50 mg/L – 300 mg/L dando como respuesta que no hay una remoción de NO<sub>3</sub> tan efectiva como lo fue en la anterior grafica.

La determinación de NO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub> en suelos se fundamenta en la formación de complejos coloreados con estos iones. La intensidad del color desarrollado se compara con aquel que presentan soluciones estándar y en esta forma se puede estimar la concentración en muestras desconocidas.

**Fase III. Determinar los porcentajes de remoción de amonio en las aguas de lavado por medio de la aplicación de un polímero.**

Para hallar el porcentaje de remoción de amonio, los porcentajes de remoción se deben calcular por fecha de muestreo entre:

Arena+gly+amonio Vrs. Arena+gly+amonio+polimero  
Mo+gly+amonio Vrs. Mo+gly+amonio+polimero  
Arena +mo+gly+amonio Vrs. Arena+Mo+gly+amonio+polímero

$$\text{porcentaje de remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Fórmula 3. Porcentaje de remoción por muestreo

Nota: Dónde:  $C_i$  = Concentración de la prueba blanco a determinado tiempo, mg/l  
 $C_f$  = Concentración de la prueba con polímero a determinado tiempo, mg/l.

## **6. Resultados de porcentaje de remoción**

Las gráficas comparan los porcentajes de remoción en los diferentes sustratos a lo largo del periodo de muestreo, en el cual se observó el comportamiento de las concentraciones de los iones en presencia del polímero. En los casos en los cuales porcentaje de remoción dio valores negativos se tomó como cero.

## AMONIO (NH<sub>4</sub>)

- **SISTEMA 1:**

### Arena+gly+amonio Vrs. Arena+gly+amonio+polímero

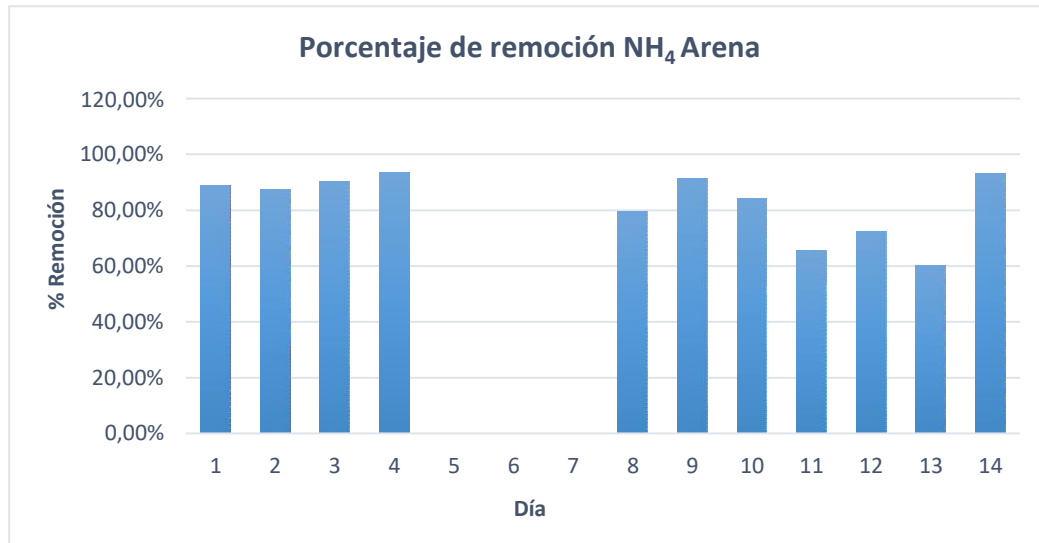


Figura 32. Porcentaje de remoción NH<sub>4</sub> - Arena- Sistema 1  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 32, se identificó un buen funcionamiento del polímero para la captación de amonio durante los primeros 17 días con porcentajes superiores al 87,31% y una reducción que probablemente se produjo por la colmatación, este en las tomas de los días 23, 24 y 31. A partir del día 33 se obtuvieron valores superiores al 60,07% de remoción.

El proceso de colmatación se da debido a la acumulación de partículas en la superficie del geopolímero, lo cual forma una capa con menor permeabilidad, que dificulta el ingreso de los iones.

- **SISTEMA 2:**

**Mo+gly+amonio Vrs. Mo+gly+amonio+polímero**

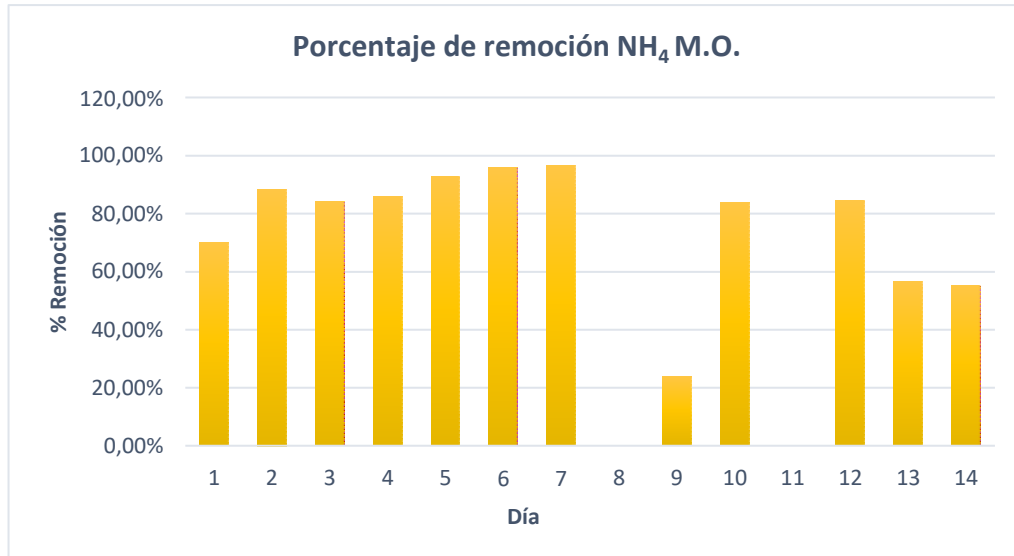


Figura 33. Porcentaje de remoción M.O – NH<sub>4</sub> – Sistema 2  
Fuente: Elaboración propia

La figura 33 demuestra que el porcentaje de remoción de amonio en la materia orgánica es constante en el primer mes, con valores entre 70,23% y 96,61% Posteriormente se observó un descenso de la efectividad de retención del polímero en las muestras del con rangos entre 23,85% y 84,39% teniendo dos valores en 0 debido a una mayor concentración que en el blanco.

- **SISTEMA 3:**

**Arena +mo+gly+amonio Vrs. Arena+Mo+gly+amonio+polímero**

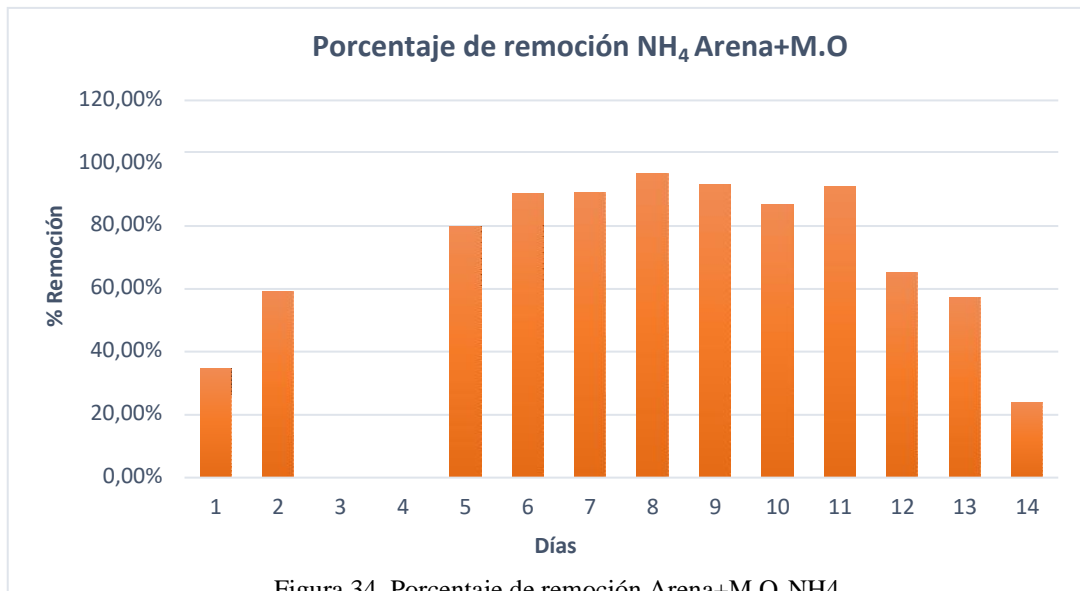
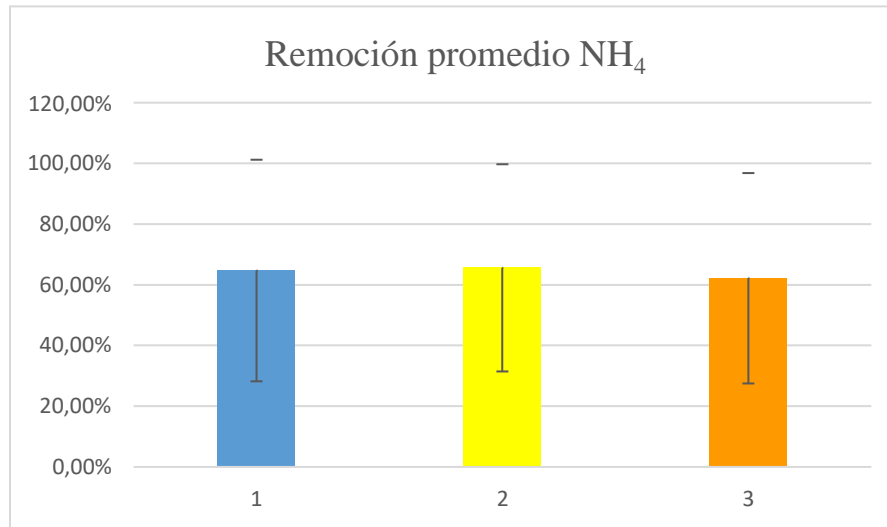


Figura 34. Porcentaje de remoción Arena+M.O-NH4

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34, la mezcla de materia orgánica y arena se encontró un patrón similar al de la muestra de solo arena, en el cual el polímero posiblemente se saturó rápidamente y presentó un reacondicionamiento evidenciable en el aumento del porcentaje de remoción de amonio a valores entre 79,98% y 96,59% posteriormente se ve un descenso a un valor de 23,74% que de indicios de un patrón cíclico de restauración.

## Porcentaje de remoción promedio NH<sub>4</sub>



Gráfica 1 Porcentaje de remoción promedio NH<sub>4</sub>  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.  
Porcentaje de remoción promedio NH<sub>4</sub>

	NH <sub>4</sub> Sistema 1	NH <sub>4</sub> Sistema 2	NH <sub>4</sub> Sistema 3
<b>Remoción promedio</b>	64,71%	65,58%	62,16%
<b>Desviación ST</b>	37%	34%	35%

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de la gráfica 1 se tomó el promedio de remoción de las fechas muestreadas y se hayo la desviación estándar para conocer el rango de valores que podemos encontrar. se puede observar las cualidades del polímero para la retención de amonio ya que los porcentajes de remoción fueron altos en los tres sistemas, en un promedio se obtuvieron valores superiores al 60% al igual que a unos picos altos y bajos de remoción lo cual genero altas desviaciones alrededor de un 30% en los valores promedio, así como lo demuestra la tabla 33.

## NITRATO (NO<sub>3</sub>)

### SISTEMA 1

#### Arena+gly+amonio Vrs. Arena+gly+amonio+polímero

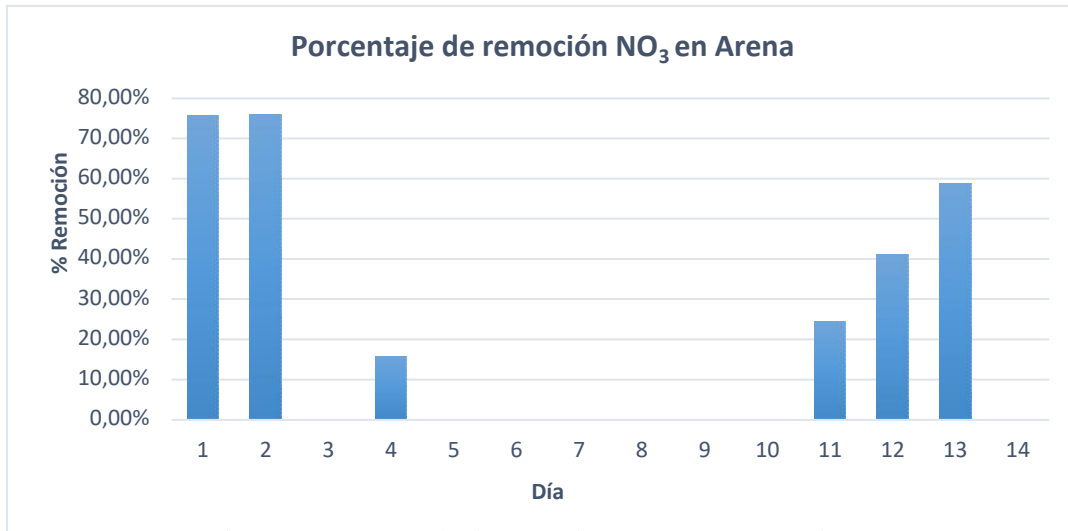


Figura 35. Porcentaje de remoción en Arena-NO<sub>3</sub> -Sistema 1

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, no se observa remoción constante de nitrato en suelo arenoso por parte del polímero. No hubo una disminución significativa de las concentraciones a lo largo del tiempo. El polímero no es adecuado para la remoción de nitratos en arena según los resultados arrojados. Los días en los que no observamos resultado gráfico en la figura 35, hace referencia a que no hubo porcentaje de remoción de nitrato en la arena.

- **SISTEMA 2:**

**Mo+gly+amonio Vrs. Mo+gly+amonio+polímero**

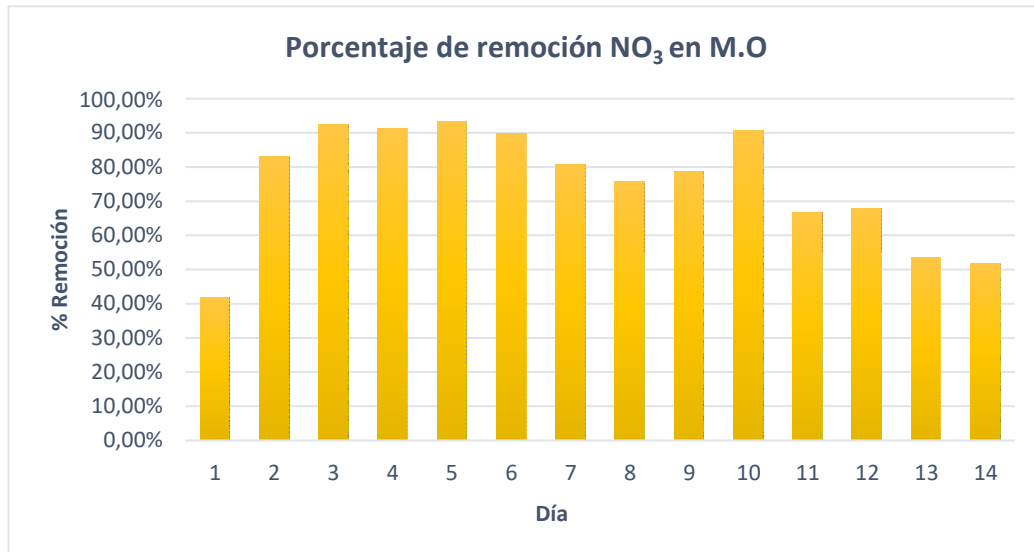


Figura 36. Porcentaje de remoción en M.O-NO<sub>3</sub> -Sistema 2  
Fuente: Elaboración propia

A diferencia de la anterior gráfica, el porcentaje de remoción de nitrato en la materia orgánica es positivo en la totalidad del tiempo de muestreo, como se muestra en la figura 36, con un valor inicial de 41,94%, seguido de nueve muestras con valores entre 93,43% y 75,66%, finalizando con valores en el rango de 66,67 a 51,66.

- **SISTEMA 3:**

**Arena +mo+gly+amonio Vrs. Arena+Mo+gly+amonio+polímero**

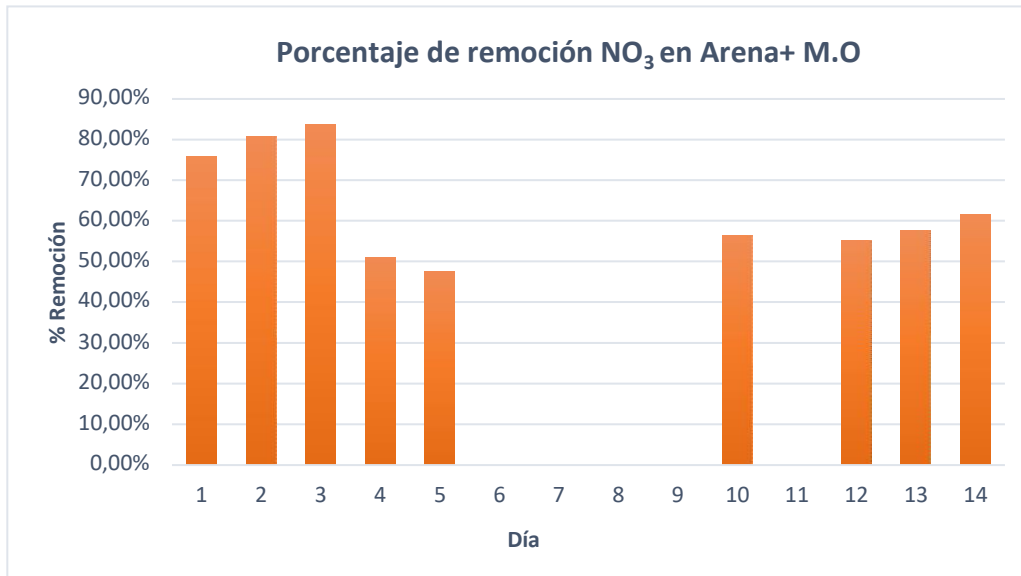
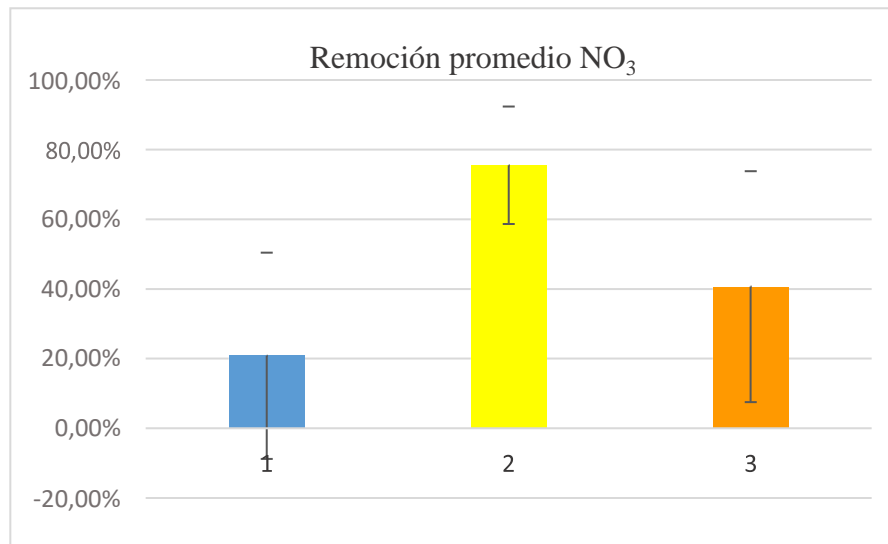


Figura 37. Porcentaje de remoción en Arena+M.O.-NO<sub>3</sub>-Sistema 3  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 37, se evidenció un porcentaje de remoción entre 47,48% y 83,65% hasta la quinta fecha de muestreo, seguido de una posible colmatación del polímero donde liberó un porcentaje del nitrato almacenado durante las siguientes cuatro fechas de muestreo, En las fechas finales el polímero volvió a realizar la captación nitrato lo cual evidencia un reacondicionamiento teniendo valores de remoción entre 55,10% y 61,53% que denotaron una efectividad ligeramente reducida.

## Porcentaje de remoción promedio NO<sub>3</sub>



Gráfica 2 Porcentaje de remoción promedio NO<sub>3</sub>  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 34.  
Porcentaje de remoción promedio NO<sub>3</sub>

	NO <sub>3</sub> SISTEMA 1	NO <sub>3</sub> SISTEMA 2	NO <sub>3</sub> SISTEMA 3
<b>REMOCIÓN PROMEDIO</b>	20,82%	75,53%	40,66%
<b>DESVIACION ST</b>	30%	17%	33%

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de esta grafica se tomó el promedio de remoción de las fechas muestreadas y se hayo la desviación estándar para conocer el rango de valores que podemos encontrar.

En la gráfica 2 se puede ver el comportamiento del polímero para la remoción de nitrato, teniendo dificultades para cumplir su función en suelos arenosos y resultados muy positivos en el compost.

El sistema 3 al ser una mezcla de ambos sustratos, se encuentra en un rango intermedio teniendo un valor promedio de 40.66%, con una desviación estándar del 33% tal como se muestra en la tabla

34. La desviación del sistema 2 fue de un 17%, es decir, la más baja a comparación del sistema 1 y sistema 3. Se debe tener en cuenta que el polímero presento estos periodos intermitentes posiblemente tributendo a diferentes problemas técnicos en la toma de mediciones o errores en el procedimiento, sumándole, que los suelos no son uniformes y pasan por diferentes procesos fisicoquímicos y no puedes garantizar una remoción estable.

## 7. Conclusiones

Para un suelo bajo las condiciones del sistema 3 (Suelo arenoso + materia orgánica) al que se le aplicó glifosato, se logró evidenciar que, al finalizar el experimento, en comparación con el control inicial, hubo una alteración de la densidad real ya que este aumentó. Esta situación se debió probablemente a la compactación ocasionada por el riego intermitente, además de la aplicación del herbicida. Sin embargo, en cuanto a otras propiedades físicas como la permeabilidad y porosidad se mantuvieron en un rango alto catalogando al suelo experimentado como francoarenoso.

Por otra parte, una de las propiedades químicas en el sistema 3 como la conductividad, presentó una disminución en cuanto a la salinidad, la cual evidenció un cambio de extremo a fuerte donde se cree que el lavado constante de las sales solubles del suelo ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) fueron afectadas directamente en el intercambio de cationes y aniones presentes a lo largo del tiempo, mientras que el pH se mantuvo ligeramente ácido en el transcurso de todo el experimento.

Al estudiar las condiciones del sistema 2 (materia orgánica) se evidenció que la conductividad no presentó grandes cambios ya que se observó un ligero aumento en la salinidad después de la aplicación del glifosato, pero no tan significativo para modificar las características de este suelo.

En cuanto al pH se presentó una disminución pasando de un suelo ligeramente alcalino a un suelo neutro mejorando notoriamente la disponibilidad de nutrientes en este suelo. De igual forma, el sistema 2 presentó un alto porcentaje de materia orgánica, permitiendo concluir que el compostaje proporciona grandes beneficios al suelo en cuanto a estructura y nutrientes, así como mejorando la capacidad buffer del suelo y amortiguar grandes cambios de pH y salinidad, afectados directamente por el herbicida.

Respecto al sistema 1, la aplicación del glifosato no representó cambios significativos en las propiedades químicas del suelo ya que su pH permaneció neutro de principio a fin y su conductividad está relacionada con una salinidad fuerte a lo largo de todo el experimento.

En cuanto a los análisis microbiológicos se identificaron una cantidad de colonias bacterianas de carácter aeróbico mesófilo donde se concluye que no hubo una afectación drástica a pesar de la aplicación del glifosato. Las bacterias encontradas en el sistema 1 (suelo arenoso) fueron capaces de asimilar de mejor forma los componentes químicos del herbicida el carbono, nitrógeno y fósforo como fuente de energía para sus funciones vitales en las células bacterianas comparadas con el sistema 2 (materia orgánica) y sistema 3 (suelo arenoso + materia orgánica) donde no se reflejó mejores resultados al finalizar el experimento.

Por otra parte, los porcentajes de remoción de  $\text{NH}_4$  fueron altos en los tres sistemas, sin embargo, el sistema 2 (materia orgánica) obtuvo un porcentaje mayor de remoción promedio superior al 60%  $\pm$  30%. De igual forma, los porcentajes de remoción de  $\text{NO}_3$  en los tres sistemas, el que mayor porcentaje obtuvo fue el sistema 2 (materia orgánica) con un porcentaje de remoción promedio del

75%  $\pm$  17% comparado con los otros dos sistemas donde se obtuvo porcentajes de remoción promedio inferiores al 45%.

Es posible que la intermitencia observada en las gráficas de porcentaje de remoción de amonio y nitrato a través del polímero se atribuya a diferentes problemas técnicos en la toma de mediciones, errores en el procedimiento o la falta de uniformidad de las muestras. Además de esto, se debe tener en cuenta que los suelos no son uniformes y pasan por diferentes procesos fisicoquímicos y no siempre se puede garantizar una remoción estable en ellos.

El polímero se puede catalogar como un buen mitigante del impacto causado por el glifosato, ya que en condiciones agrícolas cumple su función durante un amplio periodo. Con esto se pretende dar solución a uno de los subproblemas generados de la aplicación de este herbicida, con relación a la eutrofización por incremento de nitrógeno en aguas superficiales y deterioro de la calidad de fuentes para consumo, debido a las altas concentraciones de amonio actualmente encontradas y que son producto de las actividades agropecuarias.

## 8. Bibliografía

- Bórtoli, P. V., Verdenelli, R. A., Conforto, C., Vargas Gil, S., & Meriles, J. M. (2012). Efectos del herbicida glifosato sobre la estructura y funcionamiento de comunidades microbianas de dos suelos de plantaciones de olivo.
- Dvořáčková, H., González, P. H., Záhora, J., & Sinoga, R. R. (2018). El efecto de los polímeros absorbentes en la actividad microbiológica del suelo bajo condiciones mediterráneas. *Revista MVZ Córdoba*, 6414-6464.
- Huertas, F. B. (2018). Impacto medioambiental y social del Glifosato en Colombia. *중남미연구*, 37(1), 197-216.
- Idrovo, A. J. (2015). De la erradicación de cultivos ilícitos a la erradicación del glifosato en Colombia. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 47(2), 113-114.
- Agriculture, U. S. (s.f.). *USDA*.
- Álvarez, B. C. (2019). *Estudio de nuevos legantes para la fabricación de briquetas a partir de lodos de acería*. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, Área de ciencia de los materiales e ingeniería metalúrgicos. Obtenido de [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/52772/6/TFM\\_BeatrizCabalAlvarez.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/52772/6/TFM_BeatrizCabalAlvarez.pdf)
- Franco, H. E. (1998). *clasificacion de la cantidad de materia orgánica con respecto al clima* .
- Franco, H. E. (1998). *relacion entre la porosidad y la densidad aparente*.
- IHOBE. (2012). *Análisis de suelo*.
- Jaramillo, D. (2002). *clasificacion de los suelos segun el valor de pH encontrado*.
- Siquiera, M. y. (2002).

SSDS. (1993). *Soil Survey Division Staff*.

UN, A. d. (2015). En 20 años Colombia aumentó uso de plaguicidas en un 360 %. *Unimedios*.

UPME . (2018). *Realizar un análisis del potencial de reutilización de minerales en Colombia y definir estrategias orientadas a fomentar su aprovechamiento por parte de la industria en el país bajo el enfoque de economía circular contrato interadministrativo ci-049-2018*.

Universidad Industrial de Santander, Unidad de Planeación Minero.

USDA. (2015). *TRIANGULO TEXTURAL*.

Monroy-Rodríguez, F. L., Álvarez-Herrera, J. G., & Alvarado-Sanabria, Ó. H. (2017). Distribución espacial de algunas propiedades físicas del suelo en un transecto de la granja Tunguavita, Paipa. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 91-100.

Mejía, M. V., & Agudelo-Londoño, S. M. (2019). El glifosato alza el vuelo. Análisis retórico del discurso en la prensa nacional de Colombia (2018-2019). *Signo y Pensamiento*, 38(75).

Pedraza, A. M. C., Villamizar, A. E. V., Valencia, J. A. R., & Pabón, M. A. R. (2018). CUANTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE SUELO CONTAMINADO CON ACEITES DIELECTRICOS. *SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN*, 1(1).

Patrick, F. (1984). Suelos su formación, clasificación y distribución. *CECSA. México*, 296.

Rivera, A. P. T., Murgas, R. E. C., Ríos, A. E. M., & Merini, L. J. (2019). Efecto del glifosato sobre la microbiota, calidad del suelo y cultivo de frijol biofortificado en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Argentina de Microbiología*.

Solomon, K. R., Anadón, A., Cerdeira, A. L., Marshall, J., & Sanín, L. H. (2005). Estudio de los efectos del Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante la aspersión aérea con el herbicida Glifosato (PECIG) y de los cultivos ilícitos en la salud humana y en el medio ambiente. Comisión Interamericana para el Control del Abuso de Drogas (CICAD), 5.

Villarreal, R., Filgueira, R., & Sarli, G. O. (2019). DINÁMICA TEMPORAL DEL GLIFOSATO EN UN SUELO BAJO SIEMBRA DIRECTA Y LABRANZA CONVENCIONAL. *Investigación Joven*, 6(Especial), 32-32.

Zamora, A., Ramos, J., & Arias, M. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *Bioagro*, 24(1), 5-12.