

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO CIENCIAS EN CONSERVACIÓN**  
**DE SUELOS Y AGUA**



**INFLUENCIA DEL HERBICIDA GLIFOSATO EN EL PROCESO**  
**DE HUMIFICACIÓN EN CONDICIONES DE SELVA ALTA**

**TESIS**

**PARA OPTAR TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**MENCIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**MARLON RICARDO BAILÓN ROJAS**

**Tingo María – Perú**

**Julio, 2012**

## DEDICATORIA

A Dios, por su gran misericordia,  
por  
darme fuerza y sabiduría para  
enfrentar obstáculos y seguir adelante  
aún en los momentos más difíciles. A  
Jesús, en eterna gratitud y amor por  
haber dado su vida por la mía.

A mis Padres Fortunato Mariano  
Bailón Trujillo y Clotilde Rojas Albino,  
quienes me enseñaron a vivir, por  
enseñarme a amar y esforzarme, por  
su incondicional apoyo y por su  
valioso empeño por lograr que su hijo  
logre sus metas. GRACIAS.

A mis abuelitos María, Moisés, y  
Georgina; mis hermanas María y  
Juliana, por su confianza y sobretodo  
incentivarme a salir adelante, con el  
cariño y gratitud de siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

- A mi Alma Mater; Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su contribución en mi formación profesional.
- A los docentes de la facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes me han formado con sus enseñanzas, teóricas y prácticas a lo largo de mi carrera universitaria.
- Al Ing. NELINO FLORIDA ROFNER, asesor de la presente tesis por brindarme su amistad y asesoramiento en el desarrollo científico y académico del presente trabajo de investigación
- A los miembros del jurado de tesis, Ing. JAIME TORRES GARCÍA, Blgo. M. Sc. JOSÉ LUIS GIL BACILIO, Ing. M. Sc. LADISLAO RUIZ RENGIFO, Ing. M. Sc. ROBERTO OBREGON PEÑA por su ilustre despliegue de conocimientos, consejos y sugerencias para poder llevar a cabo la íntegra ejecución de la tesis.
- A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional, guiarme en todo momento y siempre estaré eternamente agradecido hasta los últimos días de mi vida.
- A mis amigos: LISSETT S. BARRIOS CHÁVEZ, MARCIA FLOR CISNEROS BERAUN, YALICO LOAIZA ABRAHAM, quienes me brindaron su apoyo moral en la culminación del presente trabajo de investigación.
- A todas las personas que apoyaron en forma directa o indirecta en la ejecución del presente estudio, a todos ellos, MUCHAS GRACIAS.









## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado se desarrolló en la región Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito de Rupa Rupa, en el campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María, a una altitud de 660 msnm, con precipitación promedio de 3300 mm y temperatura media de 25°C.

El estudio consistió en la aplicación de diferentes concentraciones del herbicida glifosato, (0 mL/L, 1 mL/L, 1.5 mL/L, 2.0 mL/L, 2.5 mL/L,) y tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó el diseño bloque completamente al azar (DBCA), evaluando las variables de análisis de varianza, separación de medias según Duncan y análisis de regresión. El herbicida glifosato incrementó la concentración de fósforo en el suelo, producto de la degradación del herbicida, en la primera evaluación para la concentración de fósforo se obtuvo de 7.38 (TGL<sub>0</sub>) a 14.15 (TGL<sub>3</sub>) y en la tercera evaluación 8.71 (GL<sub>0</sub>) a 15.78 (GL<sub>3</sub>) ppm. La temperatura del suelo incrementó en promedio de 23.42°C (TGL<sub>0</sub>) a 24.43°C (TGL<sub>4</sub>). También el pH del suelo pasó de 5.17 (TGL<sub>0</sub>) a 5.42 (TGL<sub>2</sub>) y el contenido de materia orgánica se incrementó de 2.926 (TGL<sub>0</sub>) a 3.18% (TGL<sub>1</sub>). Se concluye que el glifosato afectó a las propiedades del suelo y en relación a las fracciones húmicas entre la primera y tercera evaluación no presentan significancia alguna.

## I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país y los que poseen tierras con potencial agrícola, desde la época denominada “Revolución Verde” (término introducido por Norman Borlaug, 1968) han aplicado diferentes técnicas de manejo a las tierras y para facilitar el proceso de eliminación de malezas se sintetizó el herbicida glifosato, producto muy eficiente para el control de malezas.

La materia orgánica, es uno de los factores más importantes para determinar la productividad de un suelo o sustrato en forma sostenida, por lo cual constituye el factor principal que garantiza el éxito en el manejo ecológico del suelo, el aporte de residuos orgánicos y su degradación en el tiempo condicionan la calidad de la materia orgánica del suelo especialmente de las sustancias húmicas, calidad que además dependen de las condiciones climáticas y edáficas.

Se evaluó los efectos del glifosato sobre la formación de las diferentes fracciones de ácidos húmicos, esta información reforzará las herramientas en los sistemas de conservación de los suelos con presencia de estos químicos, en la que surgirá la interrogante ¿la aplicación del herbicida glifosato afectará el proceso de formación de ácidos húmicos de los suelos?

En base a lo antes mencionado, se planteó el presente trabajo, cuyos objetivos son:

### **General**

Determinar la influencia de la aplicación del glifosato en la producción de ácidos húmicos en suelos del campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### **Específicos**

- Evaluar el efecto del glifosato en la formación de ácidos húmicos presentes en la materia orgánica del suelo.
- Evaluar el efecto del glifosato en la producción de CO<sub>2</sub> y en algunas propiedades del suelo (T<sup>o</sup>, pH, concentración de fósforo y materia orgánica).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Naturaleza y efectos de los herbicidas

#### 2.1.1 Glifosatos

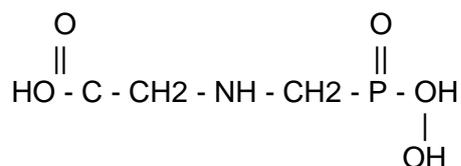


Figura 1. Fórmula del glifosato químicamente puro (WHO, 2000)

La amplia utilización de agrotóxicos en el proceso de producción agropecuaria, entre otras aplicaciones, ha traído una serie de trastornos y modificaciones para el ambiente (PÉREZ y JOSINO, 2007) a través de la contaminación de las comunidades de seres vivos que lo componen, y de su acumulación en los segmentos bióticos y abióticos de los ecosistemas (biota, agua, aire, suelo, sedimentos, etc.).

La población de microorganismos se ve seriamente afectado por la aplicación de los herbicidas. Sin embargo, en el caso de los glifosatos pueden tener efectos positivos en la comunidad microbiana, especialmente en bacterias, ya que estas pueden usarlo como fuente de carbono. EDSON *et al.* (2007) realizó una investigación en la población de microorganismos de la rizósfera en soya (*Glicine max* L.) con aplicación de glifosatos, imazaquin y el

trifluralin, en la que el tratamiento con glifosato resultó en aumento continuo de valores medios en la biomasa microbiana del suelo a lo largo del estudio.

Además, existen otros reportes en la que la aplicación de los glifosatos incrementa la población de microorganismos gracias a su capacidad para usar la molécula de glifosato como fuente de C, N y P, Haney, (2000) y Busse, (2001), citados por EDSON *et al.* (2007).

### **2.1.1. Bioquímica del glifosato en los suelos y planta**

El glifosato actúa inhibiendo la 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS), enzima responsable de la formación de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano (WILLIAMS *et al.* 2000).

Este grupo, del ácido N fósforo metil glicina conocido como inhibidores EPSPS, es un herbicida no selectivo, de gran movilidad por el floema. Actúa inhibiendo la síntesis de aminoácidos aromáticos, entre ellos fenilalanina, tirosina y triptófano, como consecuencia de dicha inhibición también se evita la síntesis de lignina y proteínas.

El glifosato actúa inhibiendo EPSPS (5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintetasa) que cataliza la síntesis de fosfoenolpiruvato shiquimato a partir de la unión de fosfoenolpiruvato (PEP) y shiquimato 3 P, el glifosato es un inhibidor competitivo de EPSPS con respecto a PEP y actúa como inhibidor no competitivo de EPSPS con respecto a shiquimato 3 P y EPSPS forman un

complejo al cual se acopla el glifosato evitando la unión de PEP. No solo inhibe la síntesis de aminoácidos aromáticos, sino también vitaminas, ligninas, alcaloides y flavonoides.

Por otro lado, la degradación de glifosato es principalmente por vía microbiana, estando liderada por la población de *Pseudomonas* sp., lo que da lugar al principal metabolito del ácido amino metil fosfónico (AMPA). A pesar de la posible importancia de los fenómenos de degradación del suelo, la fuerte adsorción de éste a coloides como óxidos de hierro y de aluminio puede inducir a una protección de compuestos orgánicos frente a la degradación microbiana; siendo los procesos de adsorción-desorción los que al final controlan la cantidad de glifosato en el suelo (Gimsing *et al.* 2004; Scow y Hutson, 1992; Eberbach, 1998; citados por CALDERÓN *et al.* 2005).

Existe un detalle importante que ahora es de interés para la ciencia ya que ciertas evaluaciones bioquímicas hechas para medir el grado de mineralización del carbono y del nitrógeno, no evidenciaron incrementos debidos a algún efecto depresivo del glifosato sobre la actividad microbiana, la cual se acepta que es importante para prevenir o reducir la mineralización del C y N.

Bioquímicamente los glifosatos tienen efectos importantes en la formación de la porfirina. También se ha demostrado que inhibe la producción de la mutaza corísmica y/o la deshidratasa prefénica, las cuales son enzimas interactuantes activas en el proceso de síntesis del ácido shikímico, el cual a su

vez, es el precursor de la síntesis de los aminoácidos aromáticos, como fenilalanina, tirosina, triptófano, leucina, lisina y isoleucina, de los cuales la fenilalanina, tirosina y triptófano, son básicos en el proceso de síntesis de las proteínas requeridas por la planta (WHO, 2000).

### **2.1.2. Glifosato inactivado**

El glifosato, al igual que muchos de los agro insumos modernos son principios activos que al contacto con calcio y/o magnesio, presente en los suelos y en el agua, se inactivan, por lo tanto pierden su efecto sobre la vegetación, pero lo cierto es que ese producto inactivado, daña la superficie del suelo, y contamina el nivel freático, cuando penetran en la tierra por la acción del agua. De esta capacidad de inactivación se logra un efecto indeseado para el medio ambiente pero muy provechoso para las empresas productoras de esta droga; este efecto radica en que el producto al entrar en contacto con el agua (que contiene calcio y magnesio, en diferentes proporciones dependiendo de la región) pierde su capacidad de control de malezas entre 5 y 10%, lo que se repara en una utilización superior del producto, en la misma proporción (WILLIAMS *et al.* 2000).

### **2.1.3. Malezas con tolerancia a glifosato**

La mayoría de los especies de malezas en campos aplicados con glifosato no son debido a casos de resistencia. En efecto, casi siempre esos escapes pueden ser atribuidos a ciertas malezas con tolerancia innata al

herbicida, es decir, esas especies que naturalmente toleran las dosis comerciales de glifosato. Es frecuente observar que las dosis comerciales usadas en campo son menos efectivas sobre estas especies naturalmente “tolerantes”, y en general se observa alta variabilidad en el resultado debido a que son muy dependientes del estado de desarrollo de la maleza, las condiciones ambientales pre y post-aplicación y de la calidad de aplicación (WORLD HEALTH, 1994).

#### **2.1.4. Factores que pueden conducir a una menor performance del glifosato**

- Dosis incorrecta para la especie o el tamaño de maleza que se desea controlar
- Lluvias posteriores a la aplicación que no permiten una absorción suficiente.
- Malezas en estrés por sequía, frío, heladas, etc.
- Mojado deficiente, sobre todo en casos de malezas debajo del canopeo superior (efecto paraguas).
- Reducción de la actividad del glifosato en aplicaciones con baja radiación solar (nublado o aplicación nocturna)
- Malezas emergidas posterior a la aplicación
- Utilización de formulaciones de mala calidad y/o mala calidad del agua utilizada (dureza por cationes Ca y Mg).

### 2.1.5. Tolerancia de las malezas al glifosato

Cuadro 1. Tolerancia de las malezas al glifosato

Tolerancia alta		Tolerancia media		Tolerancia baja	
Nombre científico	Familia	Nombre científico	Familia	Nombre científico	Familia
<i>Asclepias</i> spp.	ASC	<i>Achillea millefolium</i>	COM	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	COM
<i>Baccharis</i> spp.	COM	<i>Althernantera philoxeroides</i>	AMA	<i>Ammi majus</i>	
<i>Chloris cantherae</i>	GRA	<i>Bowlesia Incana</i>	UMB	<i>Anagalis arvensis</i>	PRI
<i>Commelina</i> spp.	COM	<i>Cirsium vulgare</i>	COM	<i>Anoda cristata</i>	MAL
<i>Crisantemum</i> spp.	COM	<i>Clematis montevidensis</i>	RAN	<i>Artemisia verlotorum</i>	COM
<i>Dicliptera tweediana</i>	ACA	<i>Convolvulus arvensis</i>	COV	<i>Carduus</i> spp.	COM
<i>Dioscorea</i> spp.	DIO	<i>Conyza bonariensis</i>	COM	<i>Chenopodium Alba</i> spp.	
<i>Glycine max</i> (RG)	LEG	<i>Cucumis dipsaceus</i>	CUC	<i>Euphorbia heterofilia</i>	EUP
<i>Hybantus parviflorus</i>	VIO	<i>Cucurbita andreaana</i>	CUC	<i>Flaveria bidentis</i>	COM
<i>Irisene diffusa</i>	VIO	<i>Cyperus rotundus</i>	CIP	<i>Gamochoaeta spicata</i>	COM
<i>Jaborosa integrifolia</i>	COM	<i>Dichondra</i> spp.	COV	<i>Gomphrena</i> spp.	AMA
<i>Malva parviflora</i>	MAL	<i>Geranium dissectum</i>	GER	<i>Lamium amplexicaule</i>	LAB
<i>Momordica charantia</i>	CUC	<i>Heliotroium veronicifolium</i>	BOR	<i>Lolium multiflorum</i>	GRA
<i>Notroscordum fragans</i>	LIL	<i>Ipomoea</i> spp.	COV	<i>Parthenium hysterophorus</i>	COM
<i>Oenothera indecora</i>	ENO	<i>Malvastrum</i> spp.	MAL	<i>Physalis</i> spp.	SOL
<i>Parietaria debilis</i>	URT	<i>Medicago sativa</i>	LEG	<i>Plantago lanceolata</i>	PLA
<i>Petunia axilaris</i>	SOL	<i>Melilotus</i> spp.	LEG	<i>Polygonum aviculare</i>	POL
<i>Ricinus communis</i>	EUP	<i>Pisum sativus</i>	LEG	<i>Polygonum convolvulus</i>	POL
<i>Rynchosia minima</i>	LEG	<i>Sida</i> spp.	MAL	<i>Portulaca oleracea</i>	POR
<i>Senna tora</i>	LEG	<i>Solanum atripicifolium</i>	SOL	<i>Raphanus sativus</i>	BRA
<i>Solanum nigrum</i>	SOL	<i>Solanum sisymbriifolium</i>	SOL	<i>Rumex</i> spp.	POL
<i>Spharaicea bonariensis</i>	MAL	<i>Stachys arvensis</i>	LAB	<i>Senecio</i> spp.	COM
<i>Trifolium repens</i>	LEG	<i>Trianthema portulacastrum</i>	POR	<i>Sonchus oleraceus</i>	COM
<i>Wedelia glauca</i>	COM	<i>Urtica urens</i>	URT	<i>Taraxacum officinalis</i>	COM
<i>Zea maíz</i> (RG)	GRA	<i>Verbena</i> spp.	COM	<i>Veronica persica</i>	ESC
		<i>Vicia</i> spp.	LEG	<i>Viola arvensis</i>	VIO

Fuente: WORLD HEALTH (1994).

ASC : Asclepiaceae  
 COM : Compositae  
 GRA : Gramíneae  
 DIO : Dioscoraceae  
 LEG : Leguminoseae  
 POR : Portulacaceae  
 PRI : Primulaceae  
 PLA : Plantaginaceae

VIO : Violaceae  
 MAL : Malvaceae  
 LIL : Liliáceae  
 COV : Convolvuláceae  
 URT : Urticaceae  
 ESC : Escalloniaceae  
 POL : Polygonaceae

SOL : Solanáceae  
 AMA : Amaranthaceae  
 RAN : Ranunculaceae  
 LAB : Labiatae  
 EUP : Euphorbiaceae  
 BRA : Brassicaceae

## 2.2. Comportamiento del glifosato en los suelos

El aumento de la temperatura en los suelos puede explicarse teniendo en cuenta que los glifosatos son herbicidas con un amplio espectro de acción, no selectivo y usado en post emergencia, principalmente en zonas agrícolas y para el control de vegetación en zonas no cultivadas CALDERON *et al.* (2005), por lo tanto, el suelo queda descubierto de vegetación luego de su aplicación y los rayos solares impactan directamente a la superficie provocando este incremento de temperatura.

Al respecto, ALEXANDER (1998) indica que el incremento de temperatura del suelo puede ser beneficioso para los microorganismos, pues el metabolismo microbiano aumenta 2.5 veces por cada 10 grados de temperatura, esto hasta alcanzar los valores máximos de tolerancia pues a partir de allí, un grado adicional podría significar la inhibición total de su crecimiento

El herbicida es altamente polar, muy soluble en agua e insoluble en la mayoría de los solventes orgánicos, es considerado como relativamente "sano" debido a su rápida inactivación en el suelo cuya vida media es de 47 días (quinn, 1988; citado por CALDERON *et al.* 2005).

En lo que aun no se han puesto de acuerdo muchos autores es en el papel que juegan otros componentes del suelo como la materia orgánica y la arcilla (Miles y Moye 1988; Spann y Phillip 1994; Piccolo y Celano, 1994; citados por CALDERÓN *et al.* 2005) en los procesos de retención, tan

importantes en la adsorción de la mayoría de los plaguicidas en el suelo, las partículas que caen al suelo pueden ser fijadas por adsorción en las arcillas, en materiales orgánicos, en óxidos metálicos y en ciertos constituyentes húmicos por mediación del ácido fosfórico, el cual compite por los sitios de fijación con los fosfatos orgánicos.

Las informaciones de Helling (1997); citado por WHO, (2000), con respecto a los trabajos realizados sobre la "Disipación Ambiental" del glifosato y otros herbicidas, en suelos de cultivos ilícitos tratados experimentalmente en ciertas regiones de Panamá y Perú, con dosis sustancialmente más elevadas que las requeridas para fines normales de control de malezas, indican que no se detectaron residuos del producto parental o de su principal metabolito el ácido amino metil fosfónico (AMPA), en las muestras de suelos tomadas al cabo de 1,5 y 3 meses después de haber realizado los tratamientos sobre cultivos de coca. Además, refiere que el glifosato puede tener una reducida movilidad en el suelo cuando coinciden condiciones de pH alto y presencia de grandes cantidades de fosfatos no orgánicos.

Comportamiento similar es reportado por CALDERÓN *et al.* (2005), quien realizó el estudio de persistencia en campo y ha observado que durante el año 2003 sólo aparecieron residuos de glifosato durante el mes de Marzo, mientras que en el año 2004 aparecieron residuos en los meses de Abril y Mayo, en ambos casos justo después de la aplicación del herbicida. Estos resultados indican la rápida desaparición en el suelo, especialmente durante el año 2003, ya sea por procesos de adsorción muy fuerte o por procesos de

degradación de su principal metabolito (AMPA). En cualquier caso, todos los resultados que obtuvo ponen de manifiesto el bajo potencial contaminante de aguas superficiales y subterráneas.

Asimismo, CALDERÓN *et al.* (2005) concluyen que el comportamiento en los suelos está sujeto al proceso de adsorción; concretamente se produce una adsorción fuerte a los coloides del suelo entre los que destacan los óxidos de hierro y aluminio, todo ello estrechamente ligado al pH. Además, esta adsorción es irreversible protegiendo al herbicida de posibles fenómenos de degradación; esto se traduce en una baja movilidad en suelo a pesar de su alta solubilidad y en una baja persistencia, ya que no se han encontrado residuos después de un mes tras la aplicación del herbicida. De igual modo, No se han observado diferencias de comportamiento del herbicida en los dos suelos con diferente laboreo (tradicional y de conservación), todo esto pone de manifiesto el bajo potencial contaminante del glifosato.

La baja persistencia de glifosato probablemente sea debida a fenómenos de adsorción fuerte en los coloides del suelo, tal y como se demostró anteriormente (Accinelli *et al.* 2005: citados por CALDERÓN *et al.* 2005), tras la aplicación de residuos de maíz al suelo a un nivel del 8%, han encontrado una significativa reducción de la mineralización y adsorción de glifosato, demostrando que incluso bajo estas condiciones existe una baja persistencia y una alta retención en el suelo. Teniendo en cuenta la vida media (tiempo requerido para que la mitad de la cantidad del producto aplicado se

metabolice o desaparezca puede variar de 3 a 141 días) de acuerdo con la información de varios autores, aseguran que normalmente el efecto biocida es de muy corta duración en los suelos tropicales por que la molécula es susceptible de degradación rápida y capaz de fraccionarse y dar origen a componentes tales como el CO<sub>2</sub>, agua, cierta fracción nitrogenada y algunos fosfatos, debido a la participación de los microorganismos edáficos.

CALDERÓN *et al.* (2005), observó que el incremento de materia orgánica se debe al efecto del glifosato sobre los vegetales que se encuentran presentes en el área y lo hace desde la raíz. Al respecto ALCÁNTARA *et al.* (2007), revela las mismas afirmaciones pero con la ayuda de glifosato marcado con carbono 14.

El Programas de Plaguicidas de la EPA ha determinado, desde hace algún tiempo, que el metabolito ácido Amino Aminometilfosfonico (AMPA), aunque no se forma en los tejidos de los vegetales, no requiere ser sometido a regulación y, por consiguiente, ha recomendado se excluya de la regulación de tolerancias. El cuidado y preocupación por los residuos se refiere tan solo al Glifosato como producto parental. La degradación metabólica del glifosato en la planta es mínima o nula. De acuerdo con las investigaciones realizadas, se ha encontrado que noventa (90) días después de aplicado el herbicida, que el 98% de la cantidad aplicada permanece inalterada en la planta, ya que al cabo de dos meses el área en estudio presentaba una lenta recuperación ante el herbicida aplicado (WHO, 2000).

ALEXANDER (1998), la materia orgánica produce  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y es fuente de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas y microorganismos, además incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo; del 20 a 70% de la CIC de muchos suelos se debe a la materia orgánica ya que esto se debe a que la actividad del glifosato se inactiva o anula, este comportamiento puede ser explicado por la naturaleza de las propiedades físicas y químicas del glifosato.

ÉDSON *et al.* (2007), señala que el impacto del uso de agrotóxicos, se da especialmente sobre los microorganismos del suelo y que los efectos de los herbicidas sobre estos microorganismos del suelo han sido generalmente relatados como temporarios, especialmente en relación a biomasa microbiana del suelo, mostrándose una disminución en la respiración microbiana

La presencia de glifosato en el suelo puede causar cambios en la población y la actividad microbiana del suelo, así lo demuestran numerosos experimentos que evalúan los efectos perjudiciales del herbicida sobre diferentes microorganismos (ARAUJO *et al.* 2003).

TORSTENSSON (1985), durante una investigación de estudio anaerobio con suelos forestales, los valores están basados en la liberación de  $\text{CO}_2$  variaron entre 6 y 200 días. La mineralización se encontró correlacionada con la tasa de respiración del suelo, pero no con el pH ni con el contenido de materia orgánica

FERNÁNDEZ (2007), encontró que a los 20 días de la aplicación del herbicida, el suelo tratado con glifosato liberaría un 18% más de CO<sub>2</sub> acumulado en la respiración que el suelo testigo. En función de los resultados en la respiración microbiana acumulada es posible deducir que la mineralización del carbono tuvo un patrón similar a lo largo del período experimental tanto en el control como en el tratado con glifosato y que la degradación microbiana del herbicida se dio probablemente mediante un proceso de catabolismo y no de cometabolismo.

### **2.3. Importancia del pH en la degradación de los herbicidas**

El pH, es una de las más importantes variables ecológicas que gobiernan la actividad y composición de la flora, los fungi pueden desarrollarse en una amplia gama, desde fuerte acidez (pH = 2) hasta basicidad media (pH = 9). El que un pH ácido se considere el óptimo para los hongos, es el resultado de la inhibición de los otros microorganismos y no que sea la preferencia por ese nivel de pH, la reacción química de la descomposición cesa, cuando el pH del suelo se ubica sobre el umbral de 6.8 (TORO, 2005).

Los herbicidas son moléculas que poseen cargas eléctricas y por lo tanto, al depositarse en el suelo, son atraídas por las micelas o coloides del suelo, representadas por la materia orgánica y las arcillas (TORO, 2005). Por lo tanto, un suelo con altos contenidos de materia orgánica y porcentajes de arcillas influirá sobre la actividad de los herbicidas, afectando su eficiencia y persistencia. La actividad y degradación de los herbicidas aumenta cuando el

pH del suelo es menos ácido; por otra parte, la adsorción de los herbicidas es mayor cuando el contenido de materia orgánica aumenta.

Todos los factores que incrementan la actividad microbiana, también aceleran la degradación de los herbicidas (la situación óptima se encuentra en suelos húmedos y con temperatura superior a 25°C), la degradación es producida por los microorganismos del suelo, de modo que la actividad del herbicida puede incrementar y acelerar dependiendo del pH del suelo; La tasa de los procesos de degradación disminuye, cuando el suelo presenta un bajo contenido de humedad (TORO, 2005).

El comportamiento puede variar en función de las características del suelo sobre el que se aplique, en lo que muchos autores parecen estar de acuerdo es en el importante papel que ejercen los óxidos de hierro y aluminio, así como el pH del suelo en los procesos de adsorción del suelo (Jonge, 1999; Jonge *et al.* 2001; Gimsing *et al.* 2004; citados por CALDERÓN *et al.* 2005).

Lo que no se reporta es que si el glifosato afecta el pH del suelo y otras propiedades del mismo. Sin embargo, según WHO (2000), refiere que el glifosato presenta ionización del grupo amino a pH de <2, del grupo amino y el hidrogenión libre de la fracción de ácido fosfónico a 2.6, del hidrógeno del grupo carboxilo a pH de 5.6.

Al respecto, ALCÁNTARA (2007) señala que para los herbicidas de post emergencia (glifosato), los valores de pH son más elevados en el estrato

superficial del suelo, CALDERÓN (2005), sustenta que en los suelos tropicales la molécula de glifosato es susceptible de degradación y a la vez tiene la rapidez y capacidad de fraccionarse y dar origen a componentes tales como el CO<sub>2</sub> y agua, cierta fracción nitrogenada y algunos fosfatos.

CALDERÓN *et al.* (2005), indica que el comportamiento en los suelos está sujeto al proceso de adsorción; concretamente se produce una adsorción fuerte a los coloides del suelo entre los que destacan los óxidos de hierro y aluminio, todo ello estrechamente ligado al pH.

#### **2.4. El suelo**

El suelo es una combinación de diversos materiales que incluyen:

- Partículas de minerales y roca.
- Materia orgánica en descomposición.
- Organismos vivos (bacterias microscópicas, hongos, lombrices, etc.).
- Aire y agua.

Un suelo de buena calidad es una combinación balanceada de todos los materiales enumerados anteriormente. La adición de compost mejora este balance y crea un suelo más productivo.

Con la agricultura orgánica, mediante la aplicación de abonos elaborados reciclando la materia orgánica, el uso de coberturas verdes, la implementación de técnicas de conservación de suelos y agua, y la utilización racional de los recursos disponibles en la finca, se mejoran las características

químicas, físicas y biológicas del suelo y la nutrición natural de las plantas; favoreciendo la recuperación y preservación del principal patrimonio con que cuentan los productores (la tierra y la biodiversidad), así como el desarrollo de sistemas productivos agropecuarios basados en un equilibrio ecológico, económico y social (COYNE, 2000).

## **2.5. Organismos del suelo**

Aunque un suelo tenga potencialmente los elementos necesarios para la vida de las plantas, puede que su disponibilidad sea muy baja. Por otro lado, en la micropoblación del suelo destacan ciertos microorganismos especializados que regulan los procesos microecológicos mediante la biolixiviación de las sustancias solubles presentes en minerales insolubles, y la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico (COYNE, 2000).

Estos microorganismos (bacterias) necesitan de materia orgánica como fuente de energía e hidratos de carbono que reúnan ciertas características: no deben ser demasiado degradables, pues ello conduce a la generación de procesos anaerobios; ni demasiado difícil de degradar, pues eso provoca el reciclaje de los elementos vitales. Por tanto, conviene aportar al suelo materia orgánica que sea asimilable a una velocidad intermedia.

Una tierra saludable está viva, con bacterias, hongos y levaduras como también criaturas como las lombrices. Ellos dependen de la disponibilidad de aire, agua y nutrientes del suelo donde viven. En recompensa, ellos son recicladores de materia orgánica, dando nutrientes a las raíces para

su desarrollo y para el crecimiento de las plantas. Ellos también mezclan el suelo (COYNE, 2000).

## 2.6. Distribución de la biomasa en el suelo

Cuadro 2. Distribución de la biomasa en el suelo

Grupo	Tipo	% de la biomasa del suelo
Microbios	Bacterias y hongos	80
Mesofauna y microfauna	Nematodos colémbolos y acáridos	2
Macrofauna	Gusanos lombriz de tierra	14
Otros		4

Fuente: COYNE (2000).

## 2.7. Localización de los microorganismos en el suelo

Los microorganismos edáficos no se encuentran ocupando todo el volumen interparticular en el suelo sino que se localizan adheridos a la superficie de las partículas del suelo. Esto supone una fracción relativamente pequeña (<1%). El proceso de adsorción de los microorganismos a la superficie de las partículas es complejo y no completamente comprendido: parece ser que las interacciones electrostáticas entre las partículas de arcilla y las paredes celulares bacterianas son de gran importancia; pero no siempre pueden explicarse por interacción electrostática simple la retención de las bacterias por el suelo y hay que considerar otras fuerzas débiles como las interacciones de Van der Waals. Por otra parte, en ciertos casos se producen estructuras de los microorganismos que coadyuvan a su fijación al substrato, estas estructuras son del tipo de fimbrias y pili en las bacterias (COYNE, 2000).

## 2.8. Factores condicionantes del desarrollo de los microorganismos

- Tipo de plantas en el suelo (el sistema de raíces influye en el número y tipo de organismos presentes).
- Características físicas del suelo (grado de aeración, humedad, temperatura y pH.)
- Composición del suelo (cantidad y tipo de nutrientes).

**2.8.1. Flora microbiana en el suelo:** En un suelo fértil podemos encontrar raíces de plantas superiores, diversos animales y una gran cantidad de microorganismos.

**2.8.2. Bacterias:** Estas exceden la población de todos los otros grupos de microorganismos. Encontramos todo tipo de bacterias desde autotróficas, heterotróficas, aeróbicas y anaeróbicas.

**2.8.3. Hongos:** Cientos de especies se encuentran en el suelo, generalmente cerca de la superficie donde prevalece una condición aeróbica. Los hongos son los descomponedores de celulosa, lignina y pectina. La importancia del hongo en el suelo es que mejora la estructura física mediante la acumulación de sus micelios en él. Además los hongos forman unos agregados que ayudan a retener agua.

**2.8.4. Algas:** Mayormente encontramos algas verdes y diatomeas en la superficie o cerca de ésta ya que necesitan luz para llevar a cabo

la fotosíntesis. Estas juegan un papel importante en suelos erosionados o desérticos, ya que como son fotosintéticos inician la acumulación de materia orgánica en esa área.

**2.8.5. Protozoarios:** Son importantes en la cadena alimentaria, ya que su modo de nutrición es la ingestión de bacterias controlando así la población bacteriana.

**2.8.6. Virus:** Este grupo incluye fagos, virus de plantas y virus de animales.

**2.8.7. Rizósfera:** Es la capa de suelo que se encuentra adyacente a las raíces. Esta región se caracteriza por una alta población microbiana. Las bacterias que crecen en la rizósfera se ven afectadas positivamente por sustancias que liberan las plantas como aminoácidos, vitaminas y otros. A la vez el crecimiento de las plantas se ve afectado por sustancias liberadas por la población microbiana (COYNE, 2000).

## **2.9. La materia orgánica**

La materia orgánica, es uno de los factores más importantes para determinar la productividad de un suelo o sustrato en forma sostenida, por lo cual constituye el factor principal que garantiza el éxito en el manejo ecológico del suelo. Sin embargo, a pesar de su gran trascendencia, ha sido descuidada

desde la década de los años 50 cuando se intensificó el consumo de los fertilizantes sintéticos que por su alto costo y por su elevada actividad de contaminación ambiental deben ser sustituidos cada vez más por la materia orgánica.

La materia orgánica representa la principal reserva de carbono de la biósfera y constituye la principal fuente de carbono y nitrógeno en los ecosistemas terrestres y de su conservación depende en gran medida la vida del planeta. Para conservarla es necesario dirigir el proceso de transformación de los restos orgánicos hacia la formación de sustancias húmicas estables y con ello disminuir la emisión de gases a la atmósfera contribuyendo a atenuar el efecto invernadero y elevar la productividad de los ecosistemas terrestres.

Esta definición comprende dos conceptos el de materia orgánica y humus. La materia orgánica se define como todo material de origen vegetal o animal en proceso de descomposición y humus como el producto final de ese proceso el cual presenta un alto peso molecular, formado por un núcleo central de compuestos aromáticos y cadenas laterales integradas por carbohidratos, así como cadenas alifáticas donde se ubican los grupos funcionales que hacen que se comporte como un “almacén” de nutrientes para evitar que éstos se lixivien (ORTEGA, 1985).

### 2.9.1. Formación de la materia orgánica en los suelos

El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de diferentes orígenes. Entre ellos se encuentran los de plantas superiores, los cultivos agrícolas y en menor escala residuos animales. Los mismos llegan al suelo y se depositan en la superficie en forma de hojas, ramas y flores, o quedan directamente atrapados en la masa del suelo como raíces.

En la superficie de los suelos forestales se acumula una capa de restos orgánicos conocido por mantillo. En los climas templados este horizonte a través del tiempo puede tener de 10 a 70 t/ha a pesar de recibir anualmente alrededor de 4 t/ha de restos vegetales. Sin embargo, los suelos forestales tropicales reciben de 100 a 250 t/ha al año y carecen de este horizonte orgánico que en todo caso puede llegar a alcanzar solamente 10 t/ha. Esto se debe a que en el trópico la acción de la fauna y la microflora del suelo es mucho más enérgica y se desarrolla con mayor actividad durante todo el año (PEÑA, *et al.* 1999).

Se conoce que en la cama de un metro de suelo, las raíces pueden pesar entre 8 y 20 t/ha y que también el 100% de la parte subterránea de las plantas anuales se renueva cada año incorporándose sus restos al suelo, mientras que las herbáceas perennes renuevan nada más el 30%. De igual forma sucede con los cultivos agrícolas anuales, los cuales dejan en el suelo pocas cantidades de restos vegetales ya que la parte aérea se retira para su consumo. Esta situación produce un nuevo equilibrio dinámico de la materia

orgánica en el suelo, disminuyendo su contenido y por ende la fertilidad potencial del mismo (PEÑA *et al.* 2000).

### **2.9.2. Estructura y fraccionamiento de la materia orgánica**

Los compuestos orgánicos donde los nutrientes se encuentran fuertemente retenidos, son los que forman el cuerpo de los organismos vivos, así como productos de síntesis secundarias como el humus, mientras que los compuestos orgánicos en los cuales los elementos tienen mayor movilidad están representados por tres grupos:

- Humatos y fulvatos. Compuestos de cationes (nutrimentales) en su combinación con los ácidos húmicos y fúlvicos.
- Compuestos órgano-minerales representados por sales complejas resultantes del desplazamiento del ion  $H^+$  de los cationes (nutrimentales) de la solución del suelo.
- Compuestos orgánicos absorbidos y retenidos en la superficie de las partículas del suelo.

El fraccionamiento de la materia orgánica es un análisis que determina la calidad de la materia orgánica y permite evaluar su influencia en la fertilidad actual y potencial del suelo. Consiste en separar la materia orgánica no humificada y las sustancias húmicas, identificándose tres grupos: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Cada uno de ellos presenta características diferentes de donde se deriva una influencia distinta sobre el suelo (Figura 2).



nutrientes para las plantas y, de un 20 a 30% se convierten en humus (Figura 3).

El humus es fuente directa de una serie de nutrientes que toman las plantas durante su crecimiento, además, su composición química permite establecer enlaces con algunos elementos, evitando la pérdida de ellos por lavado o por formación de compuestos insolubles (PEÑA, 2000).

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos coloidales de alto peso molecular, de color oscuro, que contienen núcleos aromáticos más o menos esféricos, resultantes de la participación y condensación de compuestos fenólicos ligados entre sí por cadenas alifáticas (péptidos y polisacáridos) más o menos largas. El tamaño global de la molécula, el largo relativo de las cadenas, el tamaño de los núcleos y el número de grupos funcionales (sobre todo carboxílicos y fenólicos) determinan su grado de solubilidad e influencia sobre las propiedades del suelo.

El proceso de humificación comprende como la suma de los fenómenos que provoca la formación de distintos compuestos orgánicos a partir de los productos de descomposición y alteración de restos vegetales y animales así como del plasma microbiano (PEÑA, 2000).

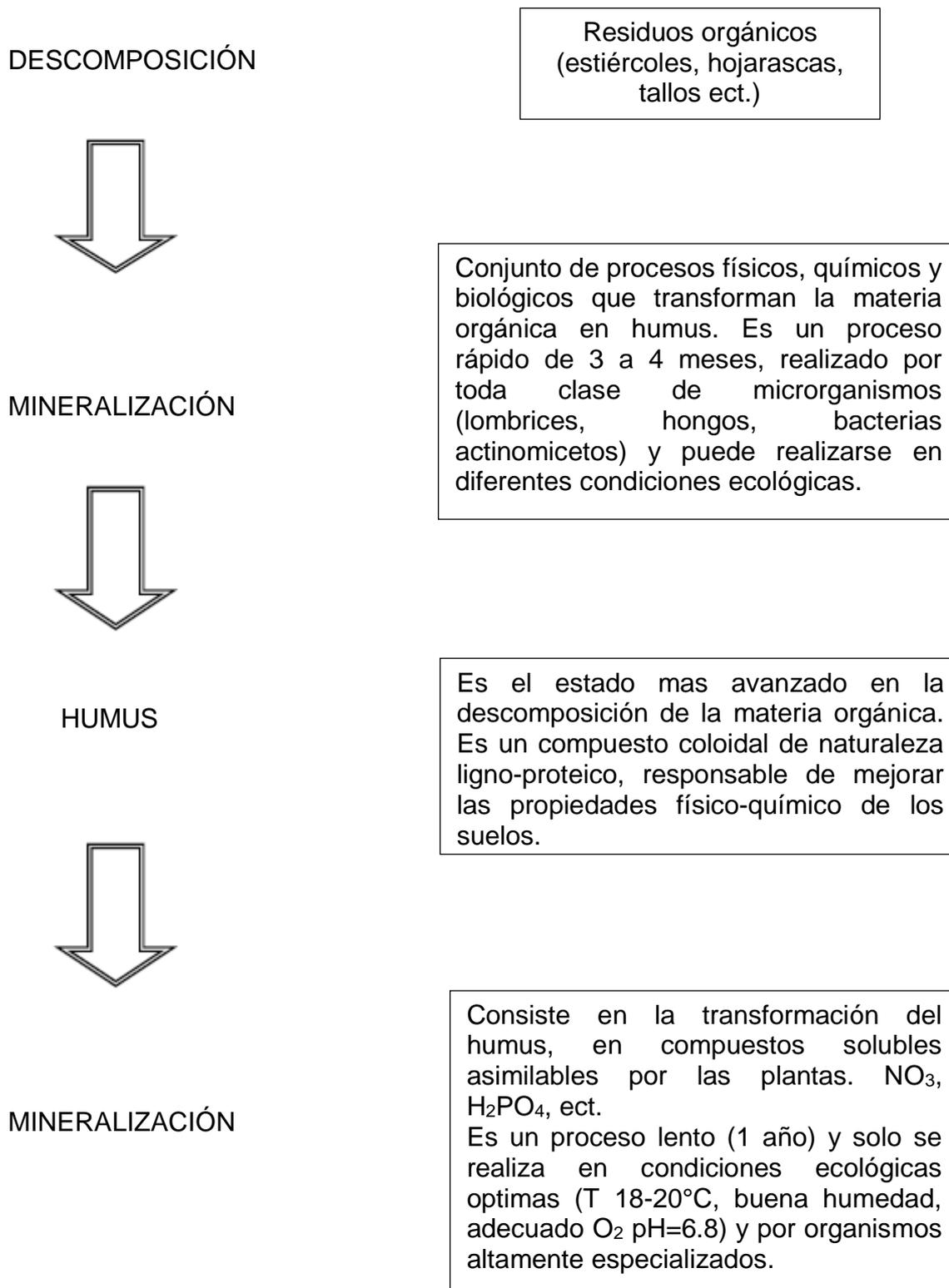


Figura. 3. Proceso de transformación de la materia orgánica (PEÑA, 2000)

#### **2.9.4. Importancia de la materia orgánica sobre las propiedades de los suelos**

La aplicación de materia orgánica de forma sistemática al suelo es de trascendental importancia para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas y buscar la sustentabilidad agrícola de nuestros sistemas productivos. La influencia favorable de la materia orgánica en los suelos ha sido reconocida desde la antigüedad y aún en nuestro siglo no ha perdido vigencia este concepto, baste decir que se considera su presencia un factor distintivo entre el suelo y la corteza mineral (PEÑA, 2000).

- **Influencia sobre las propiedades físicas.-** Produce agregación en los suelos mejorando su estructura, proporciona porosidad en los suelos arcillosos, aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, mejora el balance hídrico, regula la temperatura del suelo, reduce la erosión y reduce la evaporación.
- **Influencia sobre las propiedades químicas.-** Aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mantiene los micro y macroelementos potenciales alrededor del sistema radical de las plantas. facilita la absorción de nutrientes por las plantas y, tiene efecto quelatante sobre el hierro, manganeso, zinc, cobre y otros microelementos.
- **Influencia sobre las propiedades biológicas.-** Estimula la microflora del suelo, modifica la actividad enzimática, favorece la respiración

radical, favorece la capacidad germinativa de las semillas, mejora los procesos energéticos de las plantas, favorece la síntesis de ácidos nucleicos y el CO<sub>2</sub> desprendido favorece la solubilización de compuestos minerales.

La materia orgánica actúa como un "amortiguador" regulando la disponibilidad de nutrientes, según las necesidades de las plantas. Por ejemplo, en suelos ácidos, impide la fijación del fósforo y neutraliza el efecto tóxico del aluminio (PEÑA, 2000).

La materia orgánica actúa como un "amortiguador" regulando la disponibilidad de nutrientes según las necesidades de las plantas. Por ejemplo, en suelos ácidos, impide la fijación del fósforo y neutraliza el efecto tóxico del aluminio. La misma es muy importante en los trópicos por su propiedad tampón o amortiguadora ("buffering") de los nutrientes.

La disminución de los niveles de materia orgánica en el suelo implica la disminución de los nutrimentos disponibles para las plantas (PEÑA, 2000).

#### **2.9.5. Métodos de estudio de los compuestos orgánicos de los suelos**

- **Método cualitativo.-** Se lleva a cabo en el campo a simple vista o con lupa en el perfil o en muestras simples. Permite identificar los restos

orgánicos y por ende determinar los horizontes, se puede observar además el grado de incorporación de la materia orgánica, tipo ecológico de humus, etc.

También es posible realizar observaciones en microscopio polarizante con láminas delgadas o microscopio electrónico de barrido, lo cual permite identificar los restos orgánicos y la parte mineral a diferentes escalas (Figura 4). Este método incluye diferentes vías:

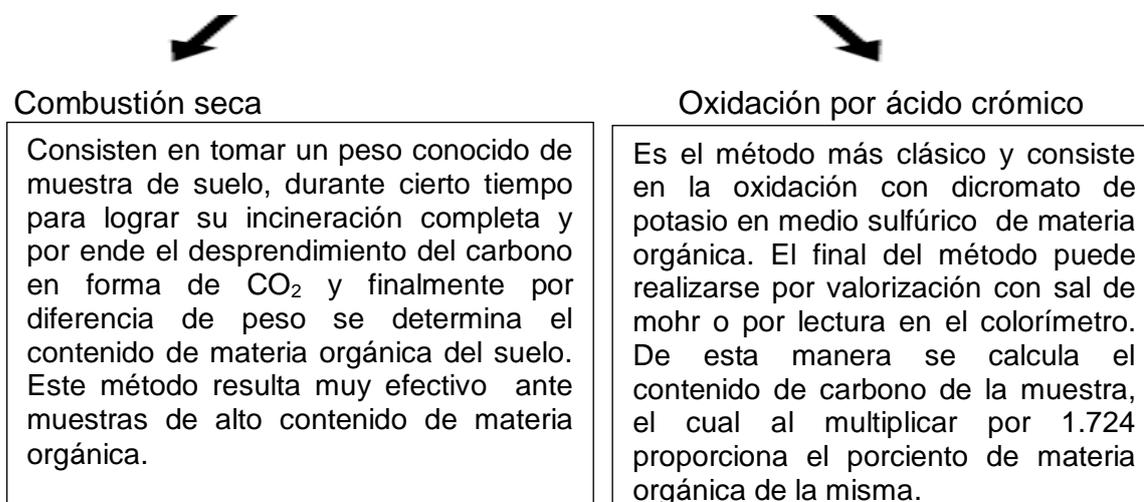


Figura. 4. Método cuantitativo (PEÑA, 2000).

## 2.10. Población microbiana del suelo

La mayoría de suelos contiene entre  $10^8$  a  $10^{10}$  microorganismos por gramo de suelo (MADIGAN *et al.* 2004), las bacterias son los microorganismos mas numerosos en lo suelos que pueden llegar hasta  $10^8$  individuos por gramo de suelo y pueden estar representados por más de  $10^4$  a  $10^6$  especies diferentes.

Los actinomicetos y los fungís son los siguientes grupos mas abundantes, pues pueden llegar entre  $10^6$  a  $10^7$  individuos por gramo de suelo, representados por más de  $10^6$  especies diferentes (SYLVIA *et al.* 2007).

## **2.11. Humus**

### **2.11.1. Sustancias húmicas propiamente dichas**

Constituidas por el complejo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo que se extrae del suelo por soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos. Esta fracción constituye la porción principal abarcando el 85-95% de la reserva total de materia orgánica.

La posibilidad de una producción sustentable depende en gran parte del efecto producido sobre la materia orgánica total (M.O.T) y sus fracciones por los cultivos y practicas de manejo de los mismos. Esta afirmación se basa en la estrecha relación que existe entre las fracciones de la materia orgánica y las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo (ZVALETA, 1992)

### **2.11.2. Fraccionamiento del humus**

Esta fracción de carbono orgánico disuelto o el humus en forma de sustancias húmicas, es extraída mediante una tecnología venezolana y, única en el mundo. La tecnología está basada en la remoción de estas fracciones

orgánicas o sustancias húmicas disueltas en las aguas de los ríos que las contienen, utilizando métodos convencionales. Estos compuestos son concentrados, refinados, pasteurizados y pueden ser empleados como bioestimulantes del desarrollo (BLACK, 1965; ZAVALETA, 1992).

### **2.11.3. Fraccionamiento químico**

En cuyo caso se obtienen las sustancias húmicas denominadas ácidos húmicos, fúlvicos y huminas (BLACK, 1965; ZAVALETA, 1992).

### **2.11.4. Fraccionamiento físico**

Se separa densimétricamente o gravimétricamente la materia orgánica libre o liviana de la ligada que está compuesta por sustancias órgano-minerales, que se halla concentrada en las fracciones más finas del suelo (BLACK, 1965; ZAVALETA, 1992).

### **2.11.5. El producto**

El producto pertenece a la familia orgánica de compuestos denominados sustancias húmicas, donde se encuentran el humus de lombriz y los ácidos húmicos derivados de carbones jóvenes denominados leonarditas. Su utilización es altamente conocida en el mundo de la agricultura orgánica pero de limitado uso por su escasa producción y altos costos (PRADAS, 2006).

El ácido húmico generalmente son polímeros de alto grado que se presentan entrelazados formando coloides esferoidales; su carácter o sea su capacidad de intercambio catiónico se basa principalmente en la presencia de radicales COOH y OH. Los ácidos húmicos y fúlvicos presentes en la formulación sirven como fuente energética nutritiva para los microorganismos benéficos presentes en el suelo, estimulando el desarrollo y proliferación de la macro y microfauna como las bacterias, actinomicetos, hongos, algas y lombrices, etc., los cuales se tornan más activos a medida que se incrementa la disponibilidad de las cadenas orgánicas presentes en el suelo mejorando su fertilidad (HANS y FASSBENDDER, 1975).

Las sustancias húmicas como los ácidos húmicos y fúlvicos poseen la capacidad de liberar aniones fosfatos solubles de minerales formando humatos de potasio asimilables por las raíces, también poseen propiedades quelatantes, atrapando cationes metálicos y compuestos minerales del suelo para formar compuestos orgánicos asimilables.

También generan efecto tampón en los suelos, es decir establecen una estabilidad química evitando variaciones de pH, en los resultados se puede apreciar lo contrario y esto se debe al efecto del glifosato que acelera la descomposición de la materia orgánica y un incremento del pH, además sufre una importante degradación, principalmente de tipo biológico, siendo su metabolito mayoritario el ácido aminometilfosfónico (HANS y FASSBENDDER, 1975).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Campo experimental**

##### **3.1.1. Ubicación del experimento**

El estudio se desarrolló, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), cuyas muestras proceden de un área adyacente al módulo de la Facultad de Recursos Naturales Renovables. Geográficamente el área experimental se encuentra en la parte norte cuyas coordenadas UTM son 390263 este y 8970794 norte de la zona 18L.

El área corresponde fisiográficamente a una terraza alta, con pendiente aproximada de 3%, suelo profundo (mayor a 1.2 m de profundidad efectiva), drenaje moderado, textura franco arcillo arenoso y de reacción moderadamente ácida. Climatológicamente, presenta una media anual de 25°C de temperatura, 3,300 mm de precipitación acumulada y 82% de humedad relativa. Políticamente se ubica en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y región Huánuco.

### 3.1.2. Características climatológicas de la zona del experimento

Cuadro 3. Medidas mensuales de precipitación durante el periodo de muestreo (noviembre – abril 2010) de la UNAS

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010					30.8	30.2	29.2
					20.3	20.6	20.5
					25.5	25.4	24.8
					86.0	87.0	88.0
					193.3	476.8	279.1
					151.5	143.5	109.6
		28.2	27.4	28.8	30.2		
		20.5	20.0	20.4	20.4		
		24.3	23.7	24.6	25.3		
		89.0	91.0	88.0	87.0		
	475.7	535.3	555.8	376.3			
2011	82.4	74.3	86.5	152.8			

Fuente: Estación Meteorológica José Abelardo Quiñónez (2012).

### 3.2. Características del campo experimental

El experimento se realizó en suelos que presenta topografía plana, suelos con producción forestal (capirona), textura limosa, extremadamente ácido y con presencia de gramíneas (maní forrajero, entre otros).

#### 3.2.1. Estudios

##### 3.2.1.1. Suelo

➤ Suelo ácido con materia orgánica y respiración microbiana (materia orgánica + CO<sub>2</sub>).

➤ Suelo ácidos con presencia de gramíneas, plantas forestales (capirona) y entre otros.

▪ **Dosis para cada tratamiento con glifosato.**

➤ El glifosato es un herbicida, se determinará el comportamiento dentro del suelo para determinar la respiración microbiana, T<sup>0</sup>, pH, fósforo y materia orgánica.

Cuadro 4. Cantidad de glifosato a aplicar por tratamiento.

Trat./ Bloque	T - 1	T - 2	T - 3	T - 4	T - 0
B - I	1	1.5	2	2.5	-
B - II	1	1.5	2	2.5	-
B - III	1	1.5	2	2.5	-

Se consideraron 4 tratamientos y se utilizó el herbicida glifosato a concentraciones crecientes y tres repeticiones por cada concentración además de un testigo, como se observa en el siguiente Cuadro.

Cuadro 5. Dosis por cada tratamiento

Tratamiento en Estudio	
T - 1	1.0 ml
T - 2	1.5 ml
T - 3	2.0 ml
T - 4	2.5 ml
T - 0	-

### 3.3. Modelo estadístico

El modelo aditivo lineal a utilizar es diseño completamente al azar:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad i= 1,2,\dots,t \quad j= 1,2,\dots,r_i$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Valor observado en la  $j$  - ésimo observado bajo el  $i$  - ésimo tratamiento.

$\mu$  = Media poblacional.

$T_i$  = Efecto del  $i$  - ésimo tratamiento,  $i = 1, 2, 3, \dots, T$

$E_{ij}$  = Error experimental,  $J = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$T$  = Número de tratamientos.

$r_i$  = Número de repeticiones del  $i$ -ésimo tratamiento.

Cuadro 6. ANVA de un diseño de parcelas divididas en DBCA

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>
Bloque	( $r-1$ )
A	( $a-1$ )
B	( $b-1$ )
AB	( $a-1$ )( $b-1$ )
Error	$a(a-1)(r-1)$
Total	( $abr-1$ )

Todas las características a evaluarse en cada uno de los tratamientos fueron sometidos al análisis de varianza (ANVA) y prueba de Duncan de significación estadística al nivel de 0.05 de significancia

### 3.4. Disposición experimental

#### 3.4.1. Terreno

Largo	:	15 m
Ancho	:	6 m
Área total	:	90 m <sup>2</sup>
Ancho de calles entre bloques	:	1 m

#### 3.4.2. Parcelas

Número de parcelas por bloque	:	5
Largo de cada parcela	:	3 m
Ancho de cada parcela	:	2 m
Área de cada parcela	:	6 m <sup>2</sup>

### 3.5. Variables

#### 3.5.1. Dependiente

Entre las variables dependientes tenemos a las siguientes

- Actividad metabólica
- Propiedades químicas del suelo
- Producción de ácidos húmicos.

### **Indicadores de las variables dependientes**

Niveles de: materia orgánica, pH, CO<sub>2</sub>, temperatura y proporción de fracciones húmicas.

#### **3.5.2. Independiente**

Efectos del glifosato

### **Indicadores de la variable independiente**

Concentración del P mg/kg (por la degradación del glifosato) en el suelo.

#### **3.6. Metodología**

El presente trabajo de investigación se realizó desde noviembre 2010 a mayo 2011, en una extensión de tierra en la que actualmente se están aplicando herbicidas.

En una primera etapa se determinó la ubicación, reconocimiento y mantenimiento del área de investigación donde se instalaron las parcelas de acuerdo al diseño experimental. Algunas parcelas estaban simuladas por parcelas de uso protección, donde se tomaron las muestras iniciales de suelo.

En una segunda etapa se realizó la aplicación del herbicida a intervalos de dos meses inmediatamente a 30 días de la aplicación se realizaron las evaluaciones correspondientes.

Finalmente en la tercera etapa se procedió a analizar los datos obtenidos.

### **3.6.1. Primera fase**

#### **3.6.1.1. Determinación de la ubicación, reconocimiento y mantenimiento de la parcela**

El lugar donde se instalaron las parcelas estuvo de acuerdo al ajuste estadístico de bloques completamente randomizado, considerándose el análisis de varianza, la relación de regresión y correlación de Pearson. Se tuvo en cuenta una extensión de 6 m<sup>2</sup> por cada tratamiento con características homogéneas para crear condiciones similares entre los tratamientos.

#### **3.6.1.2. Preparación del terreno**

En esta área no existió cultivo en particular solo se procedió a limpiar las malezas y dejarlo como una parcela común, en el cual se realizó cuatro aplicaciones del herbicida glifosato a dosis crecientes en intervalos de dos meses.

### **3.6.2. Segunda fase**

#### **3.6.2.1. Demarcación del terreno**

El trazado de las parcelas se realizó mediante jalones, estacas, rafias y wincha.

#### **3.6.2.2. Muestreo del suelo**

Una vez delimitadas las parcelas se realizaron los muestreos correspondientes a una profundidad de 20 cm y unos 250 g. por muestra para los análisis iniciales de: temperatura, materia orgánica, pH, fracciones húmicas, fósforo disponible y producción de CO<sub>2</sub>.

#### **3.6.2.3. Aplicación del herbicida glifosato**

Se realizó de acuerdo a las dosis para cada tratamiento en estudio.

El análisis físico de suelos se realizó en el laboratorio de Conservación de Suelos de la facultad de Recursos Naturales Renovables en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, evaluándose la materia orgánica, pH, temperatura, CO<sub>2</sub>, fósforo, fracciones húmicas y porcentaje de humedad.

El diseño experimental que se aplicó corresponde al de diseño de estímulo creciente, en la que se tomó el herbicida a dosis creciente de 1, 1.5, 2 y 2.5 mL/L y tres repeticiones por cada concentración.

### **3.6.3. Tercera fase**

Esta fase consistió en realizar el análisis de los datos obtenidos, para el cual se utilizó el SAS para registrar la correlación de Pearson entre las variables y su interpretación con las pruebas de Duncan.

## **3.7. Metodología para determinar las variables de estudio**

### **3.7.1. Determinación de la actividad metabólica a través de la respiración (CO<sub>2</sub> liberado)**

Para la determinación de la actividad metabólica del suelo se recolectaron muestras de suelo en un estado de capacidad de campo, se realizó a través de la producción de CO<sub>2</sub>, utilizamos el método basado en la mineralización, que es la degradación completa de un compuesto en sus componentes minerales, en el cual el carbono orgánico del compuesto es convertido en CO<sub>2</sub> por el proceso de la respiración. Para ello se realizó el siguiente procedimiento, se peso 100 gr de suelo en un matraz de 500 mL y se colocó un tubo de ensayo, en el cual se agregó 8 mL de NaOH 0.6 N, luego se tapó con un tapón de jebe, que se conectó con mangueritas a un matraz de 250 mL que contenía 50 mL de NaOH 4 N.

Para la determinación de CO<sub>2</sub>, se extrajo 8 mL de NaOH a 0.6N con una jeringa del tubo de ensayo y se colocó en un matraz de 125 mL, siendo el tubo de ensayo enjuagado con 8 mL de agua destilada, luego se agregó nuevamente 8 mL de NaOH a 0.6 N al tubo de ensayo, en seguida se añadió 5 mL de BaCl<sub>2</sub> a 2 N, más 2 a 3 gotas de fenolftaleina y se titulo con HCl a 0.6 N. La obtención de CO<sub>2</sub> liberado se determinó con la siguiente fórmula:

$$\frac{mgCO_2 - C}{100grdesuelo} = \frac{GastodeHCl(ml)blanco - GastoHCl(ml)muestra}{100grdesuelo} * 0.6 * 6$$

### 3.7.2. Análisis de propiedades del suelo

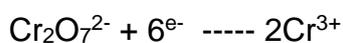
Se evaluó el pH (método del potenciómetro), contenido de materia orgánica (método de Walkley y Black), fósforo (Olsen modificado), fraccionamiento del humus (por ácidos y álcali) y la producción de CO<sub>2</sub> (por titulación con KOH).

### 3.7.3. pH

Se pesó 10 g de suelo y se colocó en un vaso de precipitación, se agregó 25 mL de agua destilada al vaso de precipitación que contenía los 10 g de suelo, se agitó por 15 minutos y luego por 30 minutos para posteriormente realizar la lectura en el potenciómetro, previamente calibrado. Antes de realizar la lectura se agitó mecánicamente para evitar el efecto de Pellman.

### 3.7.4. Materia orgánica

Corresponde al método de la combustión húmeda, que consiste en determinar el carbono presente en la materia orgánica del suelo fácilmente oxidable por el dicromato de potasio ( $\text{KCr}_2\text{O}_7$ ) en un medio ácido (ácido sulfúrico). El dicromato actúa capturando los electrones liberados en la combustión, reduciéndose el Cr.



Se pesó 1 g de suelo y se colocó en un erlemeyer de 250 mL, se agregó 10 mL de dicromato de potasio 2N, y luego 10 mL de ácido sulfúrico Q.P. 96% concentrado, se dejó en reposo por una hora a más, se enrazó a 100 mL con agua destilada. De esta solución tomó en una alícuota de 20 mL, se adicionó 2 a 3 gotas del indicador difenil-amina, y se tituló con sal ferrosa amoniacal o sal de Mohr,  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  0.2N hasta que vire de azul violeta a verde brillante, se debe preparar un blanco, que consiste en preparar una muestra sin suelo.

La finalidad es calcular el factor de corrección de la solución ferrosa.

Cálculos

$$\%M.O = \frac{(a - bf)0.003 * 1.724}{p} * 100$$

- a : mL de dicromato de potasio utilizado
- b : mL de sal ferrosa o sal de Mohr gastado (gasto de titulación)
- f : Factor de corrección.
- 0.003 : Factor del carbón.
- 1.724 : Factor de van Vammelen.
- P : Peso de la muestra de la muestra

$$f = \frac{\text{ml d dicromato de potasio utilizado(gasto teorico)}}{\text{ml de sal ferrosa gastado(gasto práctico)}}$$

### 3.7.5. Fósforo

Se utilizó el método de Olsen Modificado. En suelos ácidos los compuestos dominantes del fósforo son aluminio, hierro y manganeso, mientras que en suelos alcalinos son los fosfatos de calcio y magnesio, este comportamiento químico del fósforo llevó a investigar sobre diferentes extractantes en el análisis de fósforo disponible. Una vez que el fósforo ha sido extraído, la determinación en la solución es un procedimiento de tipo analítico.

Se pesó 2 g de suelo y se colocó en vaso de precipitación, se agregó 20 mL de bicarbonato de sodio 0.5 M (pH 8.5), se añadió carbón libre de fósforo, agitamos por 15 minutos, y se filtró. Del filtrado se tomó 3 mL, se

agregó 10 mL de molibdato de amonio  $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7 \text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , al molibdato de amonio agregamos 0.01 g de ácido ascórbico por muestra, al mezclar inmediatamente, se torna azul cuando hay fósforo en la muestra y por último leer en el espectrofotómetro a una banda de 600 nm.

### **3.7.6. Fraccionamiento del humus**

Consistió en separar la materia orgánica humificada y las cuantificaciones de las diferentes fracciones húmicas, identificándose tres grupos o fracciones: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas o ácidos. Cada uno de ellos presenta características diferentes de donde se deriva una influencia distinta sobre el suelo.

Se tomó 20 g del material suelo en una probeta con 200 mL de NaOH a 1N, una vez mezclado se trasladó a una probeta de 1000 mL, y se añadió ácido fúlvico observándose la formación de un precipitado que viene hacer el ácido húmico + humina o himatomelánico, del precipitado se seleccionó en un vaso de precipitación el ácido húmico y la humina en el cual se observó la separación entre ambos, se agregó el ácido acético (esto hará que se disuelva el ácido húmico y sólo predominará la humina), se filtró en papel filtro N° 5 y se obtuvo el ácido himatomelánico o humina.

### 3.8. Características del campo experimental

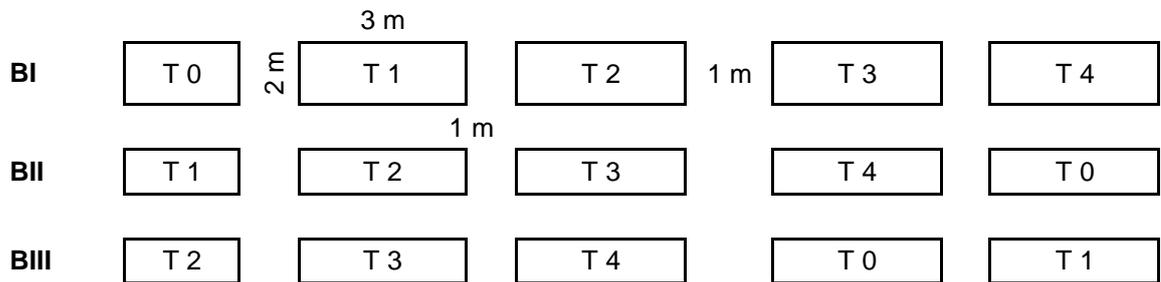


Figura 5. Diseño del área experimental para el herbicida glifosato

#### 3.8.1. Análisis de datos

Se utilizó el SAS para encontrar la correlación de Pearsson entre las variables y para su interpretación se realizaron las pruebas de Duncan.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis de regresión para el efecto de los herbicidas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo**

#### **4.1.1. Concentración de glifosato y fósforo en el suelo**

La Figura 6 muestra el efecto del glifosato en la concentración de fósforo (ppm) en la primera evaluación, observándose que los tratamientos presentan regresión polinómica simple, la recta de regresión simple es ascendente con un coeficiente de determinación positivo ( $R^2 = 0.980$ ), mientras que en la segunda presenta regresión lineal ascendente ( $R^2 = 0.888$ ) y en la tercera evaluación también presenta regresión lineal ascendente ( $R^2 = 0.982$ ); se podría decir que al aumentar la dosis de glifosato también aumentará la concentración de fósforo disponible en el suelo, ya que este herbicida presenta fósforo en su composición química (N- Fosfometil glicine),

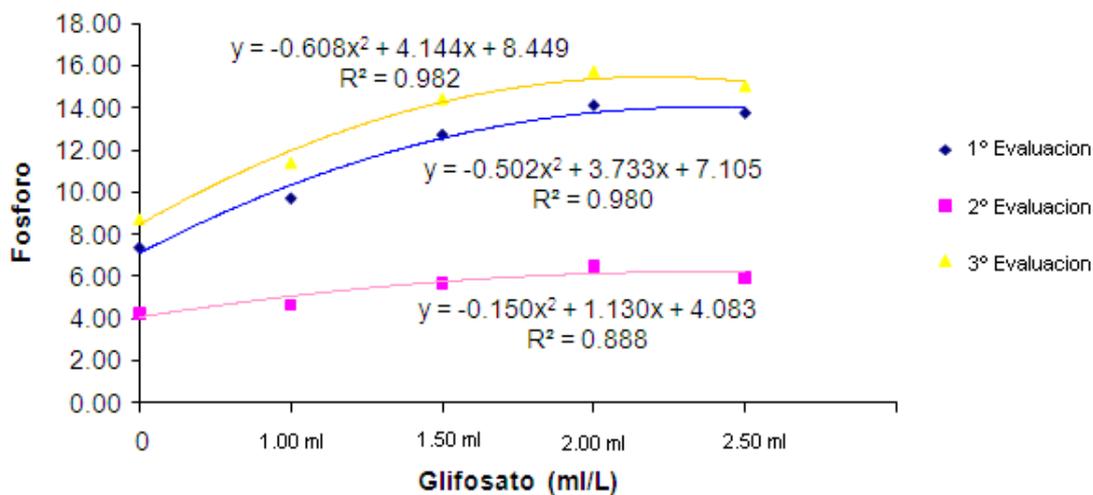


Figura 6. Regresión para el efecto entre las concentraciones de glifosato y fósforo en el suelo.

En el Cuadro 7, se observa la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para determinar la concentración de fósforo en el suelo y la significancia entre los bloques y tratamientos aplicados durante el periodo de evaluación con diferentes dosis de glifosato. De manera general, en las evaluaciones realizadas se puede apreciar que sí existen diferencias significativas en el primer y la segunda evaluación. De igual manera, se observa que en la segunda evaluación se produjo una reducción de la concentración de fósforo en el suelo con relación a las demás evaluaciones, debido a que en dichas fechas la precipitación pluvial que se presentó posiblemente ocasionó el lavado de glifosato, cuya molécula contiene fósforo en su composición química (CALDERON *et al.* 2005).

Cuadro 7. Prueba de Duncan ( $\alpha= 0.05$ ) para el contenido de fósforo disponible en el suelo.

1° Eval. (ppm)			2° Eval. (ppm)			3° Eval. (ppm)			Prom (ppm)		
Trat.	Media	Grupo									
GL <sub>3</sub>	14.15	a	GL <sub>4</sub>	6.54	a	GL <sub>4</sub>	15.78	a	GL <sub>4</sub>	12.03	a
GL <sub>4</sub>	13.78	a b	GL <sub>3</sub>	5.99	a	GL <sub>3</sub>	15.08	a	GL <sub>3</sub>	11.71	a
GL <sub>2</sub>	12.74	a b	GL <sub>2</sub>	5.70	a b	GL <sub>2</sub>	14.45	a	GL <sub>2</sub>	10.97	a
GL <sub>1</sub>	9.73	b c	GL <sub>1</sub>	4.69	b c	GL <sub>1</sub>	11.41	b	GL <sub>1</sub>	8.48	b
GL <sub>0</sub>	7.38	c	GL <sub>0</sub>	4.27	c	GL <sub>0</sub>	8.71	c	GL <sub>0</sub>	6.79	c
CV= 15.43 %			CV= 11.69 %			CV= 8.63 %			CV= 7.91 %		

GL<sub>1</sub>= Glifosato, 1 mL

GL<sub>2</sub>= Glifosato, 1.5 mL

GL<sub>3</sub>= Glifosato 2.0 mL

GL<sub>4</sub>= Glifosato, 2.5 mL

GL<sub>0</sub>= Sin aplicación

Por otro lado, en el Cuadro 7 se puede apreciar que estos resultados obedecen a que el efecto del glifosato podría haber estado influenciado por factores climatológicos, ya que la temperatura es un factor que afecta la acción del herbicida en la primera y tercera evaluación, debido a la ocurrencia de altas precipitaciones (Cuadro 3) y lavado por efecto de la escorrentía. Asimismo, aumentó la concentración de fósforo disponible del suelo ya que el herbicida es altamente polar, muy soluble en agua e insoluble en la mayoría de los solventes orgánicos y es considerado como relativamente "sano" debido a su rápida inactivación en el suelo, cuya vida media es de 47 días (Quinn *et al.* 1988; citados por CALDERÓN *et al.* 2005). Pero, al comparar el promedio general de todas las evaluaciones realizadas en el tratamiento 1 y 4, estadísticamente si presentan diferencias significativas.

Al respecto, Miles y Moye 1988; Spann y Phillip 1994; Piccolo y Celano, 1994; citados por CALDERÓN *et al.* (2005), señalan que las partículas de glifosato que caen al suelo pueden ser fijadas por adsorción en las arcillas, materiales orgánicos, óxidos metálicos y ciertos constituyentes húmicos por mediación del ácido fosfórico, el cual compite por los sitios de fijación con los fosfatos orgánicos, es por esta razón que la variable independiente (glifosato) se midió a través de los niveles de fósforo producto de la degradación del herbicida en cada uno de los tratamientos aplicados, entendiendo que el fósforo es parte de la composición química del producto.

En los resultados obtenidos del Cuadro 10 para materia orgánica se puede apreciar que existe un incremento y disponibilidad de nutrientes, según las necesidades de las plantas, no coincidiendo con PEÑA (2009), quien indica que en suelos ácidos la materia orgánica impide la fijación del fósforo y neutraliza el efecto tóxico del aluminio.

#### **4.1.2. Concentración de glifosato y temperatura del suelo**

En la Figura 7, se muestran los efectos de las dosis de glifosato en el incremento de la temperatura del suelo durante las evaluaciones realizadas las que se representan mediante la regresión polinómica simple. En la primera y segunda evaluación, la recta de regresión simple es ascendente con coeficientes de determinación positivos ( $R^2= 0.190$  y  $R^2= 0.033$ , respectivamente), mientras en la tercera evaluación es una regresión simple ascendente con una determinación simple ( $R^2= 0.839$ ). Esto nos indica que al

aumentar la dosis de glifosato también aumentará la temperatura del suelo, ya que el glifosato al eliminar la cubierta vegetal del suelo este descubierto y sin protección vegetal, por lo que no podrá mantener su temperatura constante, muy por consiguiente la temperatura tenderá a incrementarse lo que afectará la estructura del suelo y los organismos allí presentes.

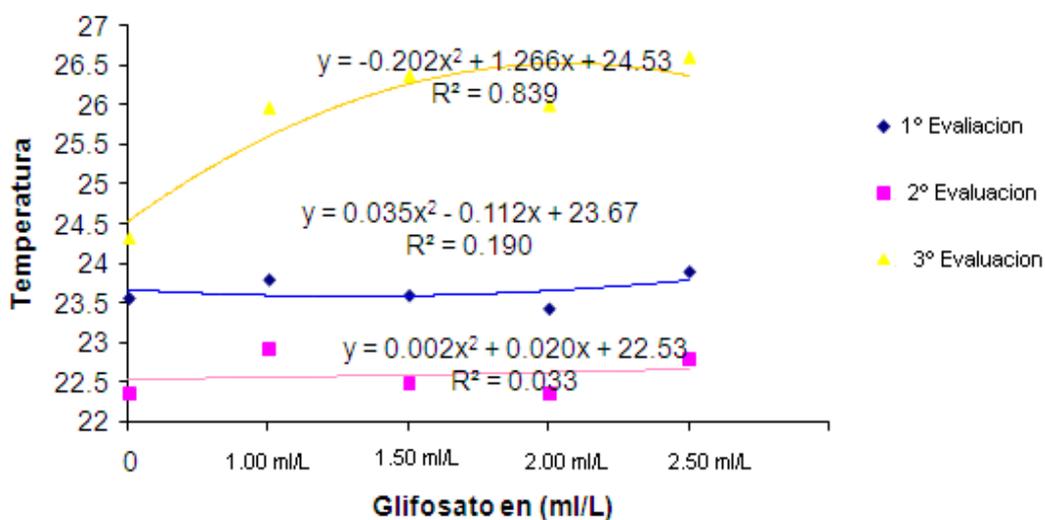


Figura 7. Regresión entre la concentración de glifosato y la temperatura del suelo.

De acuerdo al Cuadro 8, se observa el promedio de los tratamientos, donde ninguno de los tratamientos presentan diferencias significativas en relación a la temperatura del suelo, pero la interacción del herbicida glifosato se manifestó en el aumento de la temperatura en el suelo, puesto que no son iguales entre la primera y tercera evaluación realizada del presente trabajo de investigación.

Cuadro 8. Prueba Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el incremento de la temperatura en el suelo

1º Eval. (°C)			2º Eval. (°C)			3º Eval. (°C)			Prom. de (°C)		
Trat.	Media	Grupo									
GL <sub>4</sub>	23.90	a	GL <sub>1</sub>	22.93	a	GL <sub>3</sub>	26.00	a	GL <sub>4</sub>	24.43	a
GL <sub>1</sub>	23.80	a	GL <sub>4</sub>	22.80	a	GL <sub>1</sub>	25.97	a	GL <sub>1</sub>	24.23	a
GL <sub>2</sub>	23.60	a	GL <sub>2</sub>	22.50	a	GL <sub>2</sub>	26.37	a	GL <sub>2</sub>	24.17	a
GL <sub>0</sub>	23.57	a	GL <sub>3</sub>	22.37	a	GL <sub>0</sub>	24.33	a	GL <sub>3</sub>	23.93	a
GL <sub>3</sub>	23.43	a	GL <sub>0</sub>	22.37	a	GL <sub>4</sub>	26.60	a	GL <sub>0</sub>	23.42	a
CV= 1.87%			CV= 1.73 %			CV= 5.10 %			CV= 2.86 %		

GL<sub>1</sub>= Glifosato, 1 mL

GL<sub>2</sub>= Glifosato, 1.5 mL

GL<sub>3</sub>= Glifosato 2.0 mL

GL<sub>4</sub>= Glifosato, 2.5 mL

GL<sub>0</sub>= Sin aplicación

Este aumento de la temperatura en el suelo puede explicarse teniendo en cuenta que el glifosato es un herbicida con amplio espectro de acción, no selectivo y usado en post emergencia, principalmente en zonas agrícolas y para el control de vegetación en zonas no cultivadas (CALDERÓN *et al.* 2005). Por lo tanto, el suelo queda descubierto de vegetación luego de su aplicación y los rayos solares impactan directamente en la superficie provocando el incremento de la temperatura.

Al respecto, ALEXANDER (1998) manifiesta que el incremento de temperatura del suelo puede ser beneficioso para los microorganismos, pues el metabolismo microbiano aumenta 2.5 veces por cada 10 grados de temperatura, esto hasta alcanzar los valores máximos de tolerancia pues a

partir de allí, un grado adicional podría significar la inhibición total de su crecimiento.

De igual manera, TORO (2005) indica que todos los factores que incrementan la actividad microbiana, también aceleran la degradación de los herbicidas (la situación óptima se encuentra en suelos húmedos y con temperatura superior a 25°C), la que es producida por los microorganismos del suelo, de modo que la actividad del herbicida se puede incrementar y acelerar dependiendo de la temperatura y otros factores como el pH del suelo, mientras que la tasa de los procesos de degradación disminuye, cuando el suelo presenta un bajo contenido de humedad.

#### **4.1.3. Concentración de glifosato y el pH del suelo**

En la Figura 8, se muestra los efectos de la dosis de glifosato en el pH de los tratamientos, mediante la regresión polinómica simple. La recta de regresión simple es polinómica, creciente en las tres evaluaciones presentan un incremento del pH con un coeficiente de determinación positivo ( $R^2 = 0.8873$ ,  $R^2 = 0.7654$ ,  $R^2 = 0.7611$ ); es decir, al aumentar la dosis de glifosato, reducirá el pH y tenderá a incrementar frente a menores concentraciones aplicadas.

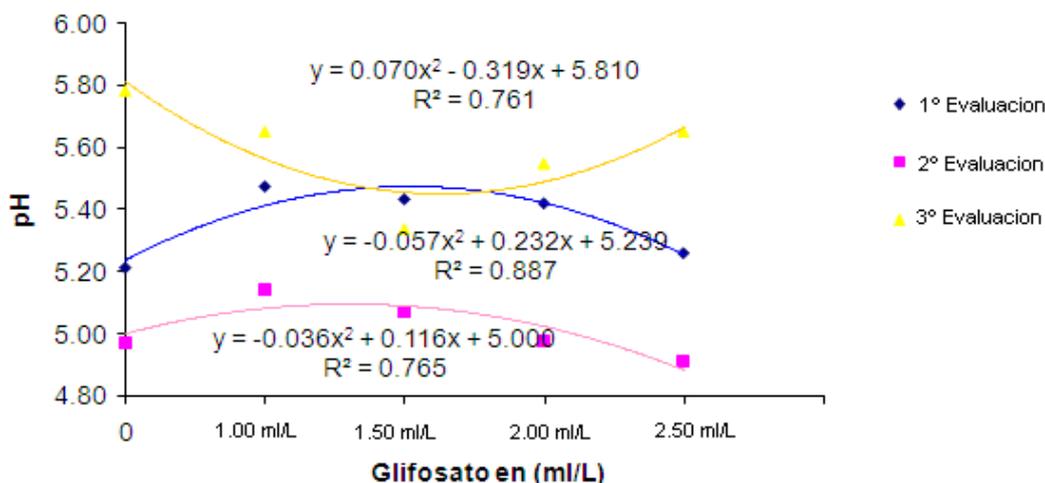


Figura 8. Regresión de la concentración de glifosato y el pH del suelo.

De acuerdo al Cuadro 9, para la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) se observa que el promedio de los tratamientos no son iguales para primera y segunda evaluación por lo que no existen diferencias significativas entre sí; mientras que si existen diferencias significativas para los tratamientos en la tercera evaluación. Al comparar el promedio general de todas las evaluaciones realizadas en el tratamiento testigo, 1 y 4 si existen diferencias significativas, debiéndose a la disminución del pH en un 0.250, pero de manera general se puede apreciar que entre las tres evaluaciones existe un incremento en el pH del suelo.

Cuadro 9. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el pH del suelo

1º Eval.			2º Eval.			3º Eval.			Promedio de		
Trat.	Media	Grupo									
GL <sub>1</sub>	5.47	a	GL <sub>1</sub>	5.15	a	GL <sub>0</sub>	5.78	a	GL <sub>2</sub>	5.43	a
GL <sub>2</sub>	5.43	a	GL <sub>2</sub>	5.07	a	GL <sub>4</sub>	5.65	a b	GL <sub>1</sub>	5.42	a
GL <sub>3</sub>	5.42	a	GL <sub>3</sub>	4.98	a	GL <sub>1</sub>	5.65	a b	GL <sub>3</sub>	5.32	a b
GL <sub>4</sub>	5.26	a	GL <sub>0</sub>	4.97	a	GL <sub>3</sub>	5.55	a b	GL <sub>4</sub>	5.24	a b
GL <sub>0</sub>	5.22	a	GL <sub>4</sub>	4.91	a	GL <sub>2</sub>	5.34	b	GL <sub>0</sub>	5.18	b
CV= 3.81%			CV= 4.31%			CV= 3.09%			CV= 2.39%		

GL<sub>1</sub>= Glifosato, 1 mLGL<sub>2</sub>= Glifosato, 1.5 mLGL<sub>3</sub>= Glifosato, 2.0 mLGL<sub>4</sub>= Glifosato, 2.5 mLGL<sub>0</sub>= Sin aplicación

Al respecto, ALCÁNTARA *et al.* (2007) manifiesta que para los herbicidas de post emergencia (glifosato) evaluados entre estratos, los valores de pH fueron más elevados en el estrato superficial del suelo. De igual modo, CALDERÓN *et al.* (2005), sustenta que en los suelos tropicales la molécula del glifosato es susceptible de degradación y a la vez tiene la rapidez y capacidad de fraccionarse para dar origen a componentes tales como el CO<sub>2</sub>, agua, cierta fracción nitrogenada y algunos fosfatos, que en los suelos están sujetos al proceso de adsorción fuerte por los coloides del suelo, entre los que destacan los óxidos de hierro y aluminio, todos ellos estrechamente ligados al pH.

En el promedio de los resultados obtenidos existe un incremento del pH (Figura 8), ya que además del proceso de degradación, existe un incremento de materia orgánica, que a su vez contribuye en el incremento del pH del suelo, tal como lo afirma ALCÁNTARA *et al.* (2007), quien agrega que el

aumento de pH resulta del aumento materia orgánica del suelo y esto genera que aumente los valores de algunos nutrientes en el estrato superficial como cationes de una reacción básica y sucesivamente la consecuente reducción de componentes de la acidez ( $H^+$  y saturación por  $Al^{3+}$ ). Sin embargo, según WHO (2000), el glifosato presenta ionización del grupo amino a pH de  $<2$ , y del hidrogenión libre de la fracción de ácido fosfónico a 2.6, del hidrógeno del grupo carboxilo a pH de 5.6. En tal sentido, al apreciar los resultados obtenidos, se puede decir que los herbicidas presentan moléculas que poseen cargas eléctricas y por lo tanto, al depositarse en el suelo, son atraídas por las micelas o coloides del suelo, representadas por la materia orgánica y las arcillas, coincidiendo con TORO (2005).

#### **4.1.4. Concentración de glifosato y la materia orgánica del suelo**

En la Figura 9 se muestran los efectos del glifosato en el contenido de materia orgánica en suelos de los tratamientos mediante la regresión polinómica simple. La recta de regresión simple es polinómica, con un coeficiente de determinación positivo en las evaluaciones ( $R^2 = 0.652$ ,  $R^2 = 0.965$  y  $R^2 = 0.793$ , respectivamente); es decir al aumentar la dosis de glifosato, aumentará el contenido de materia orgánica, ya que el herbicida es de corta duración y una nueva aplicación en el suelo volverá a generar un incremento de materia orgánica ya que la vegetación muerta por efecto del glifosato entrará en proceso de descomposición que a su vez generará un incremento la temperatura del suelo, tal como se analiza en los resultados de temperatura.

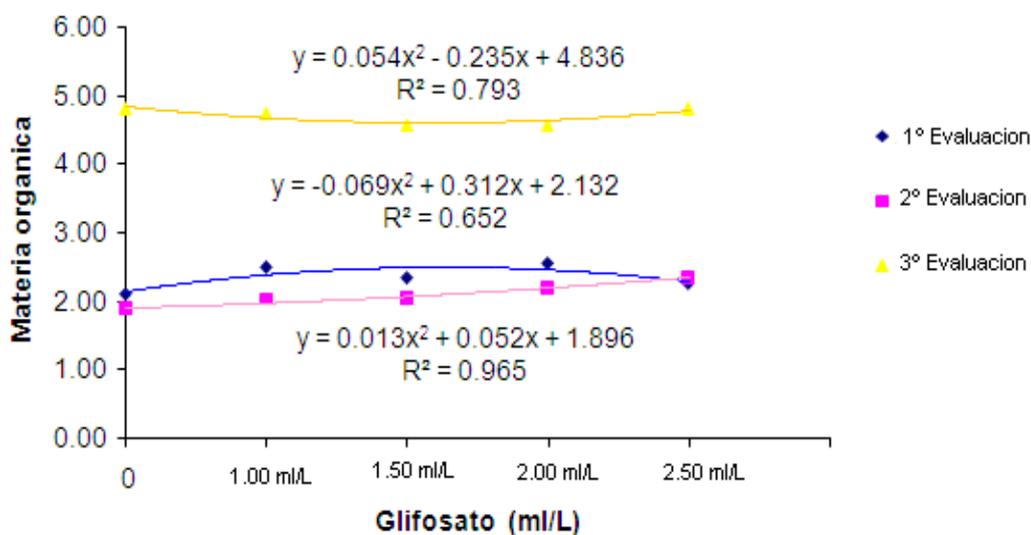


Figura 9. Regresión polinómica de la concentración de glifosato y porcentaje de materia orgánica en el suelo

De acuerdo al Cuadro 10, se observa la interacción del herbicida como se manifestó en las evaluaciones realizadas en el aumento de la materia orgánica en el suelo, lo cual no son iguales entre sí, estos resultados obedecen al efecto del herbicida lo cual podría haber estado influenciado por factor climatología, con respecto al primero y tercera evaluación se puede apreciar el incremento de la materia orgánica.

En el Cuadro 10 se observa la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ), realizada para determinar de manera general en el promedio de las evaluaciones realizadas en el tratamiento 1 y 2 si presentan diferencia significativa ya que esto se debe al aumento de la materia orgánica en un 0.21, mientras en el tratamiento 2 y 3 presenta un incremento de 0.12, en los

resultados obtenidos se puede apreciar que a una temperatura baja existirá una lenta descomposición y al tipo de suelo presente en el terreno en estudio.

Cuadro 10. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el porcentaje de materia orgánica en el suelo.

1º Eval.			2º Eval.			3º Eval.			Promedio		
Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo
GL <sub>3</sub>	2.54	a	GL <sub>1</sub>	2.33	a	GL <sub>0</sub>	4.80	a	GL <sub>1</sub>	3.18	a
GL <sub>1</sub>	2.48	a	GL <sub>3</sub>	2.17	a	GL <sub>4</sub>	4.80	a b	GL <sub>3</sub>	3.09	a
GL <sub>2</sub>	2.33	a	GL <sub>2</sub>	2.01	a	GL <sub>1</sub>	4.73	a b	GL <sub>4</sub>	2.99	a
GL <sub>4</sub>	2.26	a	GL <sub>4</sub>	1.94	a	GL <sub>3</sub>	4.57	a b	GL <sub>2</sub>	2.97	a
GL <sub>0</sub>	2.10	a	GL <sub>0</sub>	1.88	a	GL <sub>2</sub>	4.57	b	GL <sub>0</sub>	2.93	a
CV= 12.94%			CV= 16.67%			CV= 11.76%			CV= 5.41%		
GL <sub>1</sub> = Glifosato, 1 mL			GL <sub>2</sub> = Glifosato, 1.5 mL			GL <sub>3</sub> = Glifosato, 2.0 mL			GL <sub>4</sub> = Glifosato, 2.5 mL		
GL <sub>0</sub> = Sin aplicación											

De acuerdo a los resultados se puede apreciar, que es evidente hasta la tercera evaluación existe un comportamiento creciente en el contenido de materia orgánica, debido a las propiedades físicas y químicas del glifosato quien ejerce una rápida actividad ante la cubierta vegetal (WHO, 2000).

Por otro lado, CALDERON *et al.* (2005) manifiesta que el incremento de materia orgánica se debe al efecto del glifosato sobre los vegetales presentes en el área de estudio donde su efecto empieza desde la raíz; es decir en los resultados obtenidos se pudo apreciar el incremento del contenido de materia orgánica, primero por la degradación de la parte aérea y luego de las raíces. Después de aplicaciones sucesivas de glifosato la

superficie queda con menor densidad de plantas herbáceas y la cantidad de residuos que se incorporan es relativamente menor a la que se produce en las primeras aplicaciones. Al respecto, ALCÁNTARA *et al.* (2007) agrega que con el fin de conocer el proceso de metabolización en las plantas y con la ayuda de glifosato marcado con carbono 14, se demostró que el compuesto prácticamente no es metabolizado por los vegetales. Tan pronto entra en contacto con el follaje el compuesto se mueve en el sistema vascular, pudiendo llegar hasta las raíces en el término de poco tiempo. Normalmente los primeros síntomas visibles en el follaje ocurren al cabo de cuatro a cinco días, por lo que el incremento de materia orgánica ocurre en las primeras evaluaciones.

Por otro lado, el Comité encargado del aspecto del Metabolismo en la Oficina de los Programas de Plaguicidas de la EPA ha determinado que la degradación metabólica del glifosato en la planta es mínima o nula; se ha encontrado que noventa días después de aplicado el herbicida, el 98% de la cantidad aplicada, permanece inalterada en la planta, esto se puede apreciar en las evaluaciones registradas, ya que al cabo de dos meses el área en estudio presentaba una lenta recuperación ante el herbicida aplicado.

Así mismo, PEÑA *et al.* (2000) manifiestan que la materia orgánica actúa como un “amortiguador” regulando la disponibilidad de nutrientes según las necesidades de las plantas, la disminución de los niveles de materia orgánica en el suelo implica la disminución de los nutrimentos disponibles para las plantas. Por lo tanto, un suelo con altos contenidos de materia orgánica y

porcentajes de arcillas influirá sobre la actividad de los herbicidas, afectando su eficiencia y persistencia. Por otra parte, la adsorción de los herbicidas es mayor cuando el contenido de materia orgánica aumenta, esto se refleja en los resultados obtenidos que existe un incremento de la materia orgánica (TORO, 2005).

#### **4.2. Análisis de regresión para determinar el efecto de los herbicidas sobre propiedades biológicas**

##### **4.2.1. Concentraciones de glifosato y de ácidos fúlvicos**

En la Figura 10, se muestran los efectos de las dosis de glifosato en el contenido de cada tratamiento, a más dosis de glifosato existirá más materia orgánica y esto conlleva a incremento de ácidos fúlvicos en los suelos de los tratamientos mediante la regresión polinómica simple. La recta de regresión simple es polinómica, con un coeficiente de determinación positivo en las tres evaluaciones ( $R^2 = 0.758$ ,  $R^2 = 0.077$  y  $R^2 = 0.105$ , respectivamente), se puede observar que presenta una regresión polinómica simple ascendente continuo; es decir al aumentar la dosis de glifosato, aumentará la concentración de ácidos fúlvicos y también de los ácidos húmicos y himatomelánico.

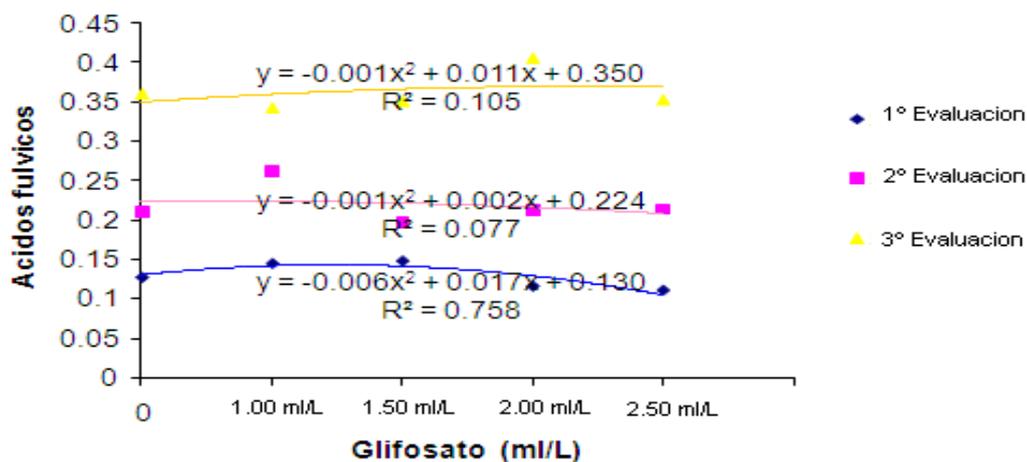


Figura 10. Regresión de las concentraciones de glifosato y ácidos fúlvicos en el suelo

En el Cuadro 11, se tiene la Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.005$ ), donde al comparar el promedio general de todas las evaluaciones realizadas se aprecia que no presentan diferencias significativas, pero que existe un incremento de ácidos fúlvicos en cada evaluación por efecto del glifosato. Es decir, al aumentar la dosis en cada tratamiento también aumenta la materia orgánica en el suelo, que su vez incrementará la concentración de ácidos fúlvicos, debido al efecto del herbicida, precipitación y la temperatura, ya que estos factores incrementan la descomposición de la cubierta vegetal.

Cuadro 11. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la concentración de ácido fúlvico en el suelo

1º Eval.			2º Eval.			3º Eval.			Promedio de		
Trat.	Media	Grupo									
GL <sub>2</sub>	0.15	a	GL <sub>1</sub>	0.26	a	GL <sub>3</sub>	0.41	a	GL <sub>1</sub>	0.26	a
GL <sub>1</sub>	0.15	a	GL <sub>4</sub>	0.21	a b	GL <sub>0</sub>	0.36	a	GL <sub>3</sub>	0.25	a
GL <sub>0</sub>	0.13	a	GL <sub>3</sub>	0.21	a b	GL <sub>4</sub>	0.35	a	GL <sub>0</sub>	0.23	a
GL <sub>3</sub>	0.12	a	GL <sub>0</sub>	0.21	a b	GL <sub>2</sub>	0.35	a	GL <sub>2</sub>	0.23	a
GL <sub>4</sub>	0.11	a	GL <sub>2</sub>	0.19	b	GL <sub>1</sub>	0.34	a	GL <sub>4</sub>	0.23	a
CV= 23.11%			CV= 15.26%			CV= 13.89%			CV= 11.59%		

GL<sub>1</sub>= Glifosato, 1 mL

GL<sub>2</sub>= Glifosato, 1.5 mL

GL<sub>3</sub>= Glifosato 2.0 mL

GL<sub>4</sub>= Glifosato, 2.5 mL

GL<sub>0</sub>= Sin aplicación

Los resultados muestran, evidentemente que hasta la tercera evaluación se presentó un comportamiento creciente en el contenido de ácidos fúlvicos, debido a la naturaleza de las propiedades físicas y químicas del glifosato, ya que este herbicida no es móvil, pues es un plaguicida perteneciente al grupo de los herbicidas de acción sistémica por la vía foliar (WHO, 2000; HANS y FASSBENDER, 1975). Además tiene un amplio espectro de acción, no selectivo, está formado por polisacáridos, ácidos urónicos, aminoácidos, compuestos fenólicos de pequeño peso molecular, los que se originan cuando la humificación es realizada con poca actividad biológica, dependiendo del tipo de suelo que habitan (Quinn, 1988; citado por CALDERON *et al.* 2005).

#### 4.2.2. Concentración de glifosato y de ácidos húmicos

En la Figura 11, se muestran los efectos de las dosis de glifosato, el mismo que es adsorbido por los componentes del suelo, como arcillas, óxido de hierro, y ácidos húmicos. Los resultados muestran para todas las evaluaciones una recta de regresión simple polinómica y descendente con coeficientes de determinación positivo ( $R^2 = 0.221$ ,  $R^2 = 0.141$ ,  $R^2 = 0.941$ ), esto se debe al efecto del glifosato sobre la materia orgánica ya que a una aplicación sucesiva existirá una baja concentración de ácidos húmicos.

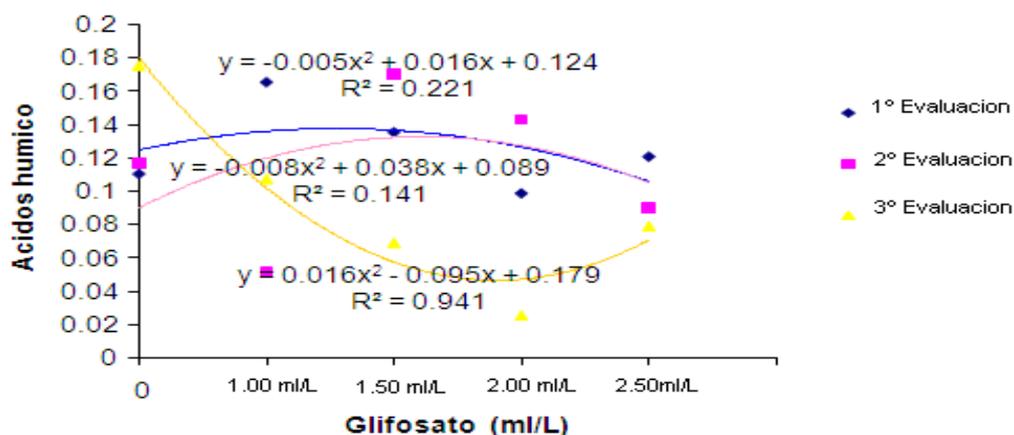


Figura 11. Regresión de las concentraciones de glifosato y ácidos húmicos en el suelo.

En el Cuadro 12, se observa la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), se observa el promedio y la interacción del herbicida, donde para todas las evaluaciones no existen diferencias significativas, ya existe un descenso en el contenido de ácidos húmicos, ya que estas sustancias no son tan activas.

Cuadro 12. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la concentración de ácidos húmicos en el suelo

1º Eval.			2º Eval.			3º Eval.			Promedio		
Trata	Media	Grupo									
GL <sub>1</sub>	0.17	a	GL <sub>2</sub>	0.17	a	GL <sub>0</sub>	0.18	a	GL <sub>0</sub>	0.19	a
GL <sub>2</sub>	0.14	a	GL <sub>3</sub>	0.14	a	GL <sub>1</sub>	0.11	a	GL <sub>2</sub>	0.13	a
GL <sub>4</sub>	0.12	a	GL <sub>4</sub>	0.09	a	GL <sub>4</sub>	0.08	a	GL <sub>1</sub>	0.11	a
GL <sub>0</sub>	0.11	a	GL <sub>1</sub>	0.05	a	GL <sub>2</sub>	0.07	a	GL <sub>4</sub>	0.09	a
GL <sub>3</sub>	0.09	a	GL <sub>0</sub>	0.12	a	GL <sub>3</sub>	0.03	a	GL <sub>3</sub>	0.08	a
CV= 50.69%			CV= 36.73%			CV= 112.21%			CV= 56.77%		

GL<sub>1</sub>= Glifosato, 1 mL

GL<sub>2</sub>= Glifosato, 1.5 mL

GL<sub>3</sub>= Glifosato, 2.0 mL

GL<sub>4</sub>= Glifosato, 2.5 mL

GL<sub>0</sub>= Sin aplicación

Según estos resultados se puede inferir que al aumentar la dosis de glifosato aumentará el contenido de ácidos húmicos, pero al repetir la dosificación en un corto tiempo sería lo contrario ya que el terreno al no haberse recuperado totalmente no presentará cobertura vegetal, por lo que existirá reducción de materia orgánica y de ácidos húmicos.

Al respecto, HANS y FASSBENDER (1975) señalan que el ácido húmico generalmente son polímeros de alto grado que se presentan entrelazados formando coloides esferoidales y su carácter o capacidad de intercambio catiónico se basa principalmente en la presencia de radicales COOH y OH. De igual manera, agrega que los ácidos húmicos y fúlvicos presentes en la formulación sirven como fuente energética nutritiva para los microorganismos benéficos presente en el suelo, estimulando el desarrollo y

proliferación de la macro y micro fauna, como bacterias, actinomicetos, hongos, algas, lombrices, etc., los cuales se tornan más activos a medida que se incrementa la disponibilidad de las cadenas orgánicas presentes en el suelo, mejorando su fertilidad. Las sustancias húmicas, como los ácidos húmicos y fúlvicos poseen la capacidad de liberar aniones fosfatos solubles de minerales formando humatos de potasio asimilables por las raíces, también poseen propiedades quelatantes, atrapando cationes metálicos y compuestos minerales del suelo para formar compuestos orgánicos asimilables. También generan efecto tampón en los suelos, es decir establecen una estabilidad química evitando variaciones de pH. Sin embargo, en los resultados obtenidos se observa lo contrario y esto se debe al efecto del glifosato que acelera la descomposición de la materia orgánica e incrementa el pH del suelo, generando una importante degradación, principalmente de tipo biológico, siendo el metabolito mayoritario de este herbicida, el ácido aminometilfosfónico.

Por otro lado, PEÑA *et al.* (2000) manifiestan que los ácidos húmicos son sustancias orgánicas vegetales complejas, cuya función es mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, actuando como biocatalizadores y estimulantes de las plantas, propiciando el incremento de la masa radicular y de nutrientes para la vegetación. Sin embargo, la acción del glifosato hace que disminuya la cobertura vegetal trayendo consigo la reducción del ácido húmico como el Cuadro 11.

#### 4.2.3. Concentración de glifosato y de ácido himatomelánico

En la Figura 12, se muestran los efectos de la dosis de glifosato en el contenido de ácido himatomelánico en los suelos de los tratamientos mediante la regresión lineal simple. Los resultados presentan una recta de regresión lineal simple con un coeficiente de determinación positivo en las tres evaluaciones ( $R^2 = 0.4485$ ,  $R^2 = 0.0179$  y  $R^2 = 0.8623$ ), la regresión lineal simple es ascendente, es decir al aumentar la dosis de glifosato, aumentará el contenido de materia orgánica, que a su vez generara el aumento del contenido de ácido himatomelánico.

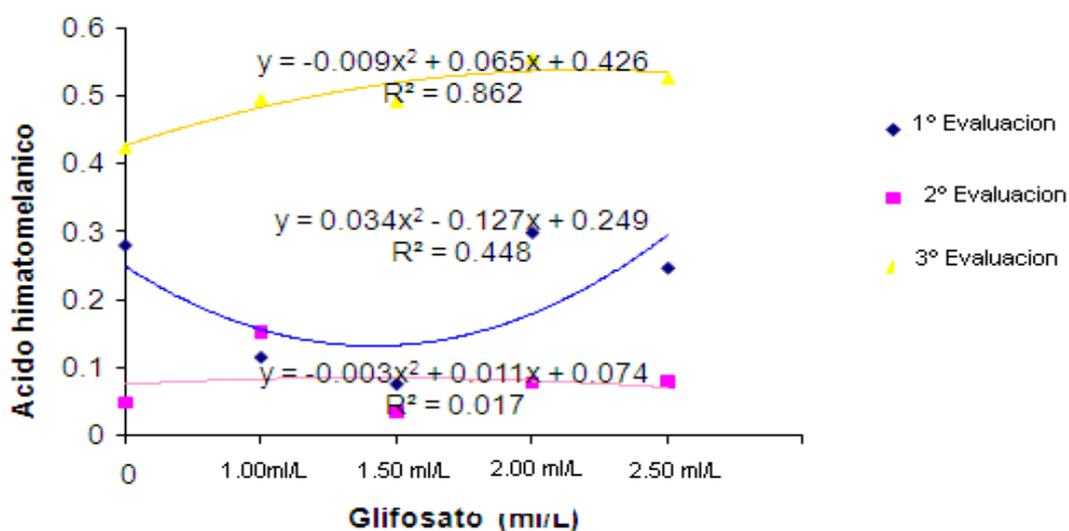


Figura 12. Regresión de la concentración de glifosato y ácido himatomelánico en el suelo.

En el Cuadro 13, para la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ), se observa que en las tres evaluaciones realizadas existe un incremento mayor del 50%, y de manera general al comparar el promedio general de todas las evaluaciones realizadas en los tratamiento en estudio se aprecia que no presentan diferencias significativas.

Cuadro 13. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para el incremento de ácido himatomelánico en el suelo

1º Eval.			2º Eval.			3º Eval.			Promedio		
Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo
GL <sub>3</sub>	0.29	a	GL <sub>1</sub>	0.15	a	GL <sub>3</sub>	0.56	a	GL <sub>3</sub>	0.28	a
GL <sub>0</sub>	0.28	a	GL <sub>4</sub>	0.08	a	GL <sub>4</sub>	0.53	a	GL <sub>4</sub>	0.28	a
GL <sub>4</sub>	0.25	a b	GL <sub>3</sub>	0.08	a	GL <sub>1</sub>	0.49	a	GL <sub>1</sub>	0.25	a
GL <sub>1</sub>	0.12	b c	GL <sub>0</sub>	0.05	a	GL <sub>2</sub>	0.49	a	GL <sub>0</sub>	0.25	a
GL <sub>2</sub>	0.08	c	GL <sub>2</sub>	0.04	a	GL <sub>0</sub>	0.43	a	GL <sub>2</sub>	0.20	a
CV= 43.49%			CV= 89.88%			CV= 36.57%			CV= 30.88%		
GL <sub>1</sub> = Glifosato, 1 mL			GL <sub>2</sub> = Glifosato, 1.5 mL			GL <sub>3</sub> = Glifosato 2.0 mL			GL <sub>4</sub> = Glifosato, 2.5 mL		
GL <sub>0</sub> = Sin aplicación											

Analizando los resultados obtenidos (Cuadro 12) se aprecia un incremento del ácido himatomelánico en todas las evaluaciones, donde a mas aplicación de glifosato se enriquecerá el área con ácido himatomelánico, pero con la desventaja de que a mas aplicación del herbicida el suelo estará sin vegetación. Al respecto, Bohn (1993), citado por ALEXANDER (1998), afirma que la descomposición de la materia orgánica produce CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y es fuente de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas y

microorganismos; además se incrementa la CIC del suelo del 20 a 70%, debiéndose a la presencia de materia orgánica, la misma que inactiva o anula al glifosato, propiciándose que el ácido himatomelánico sea mucho más activo que los ácidos fúlvicos y húmicos en el suelo.

#### 4.2.4. Concentración de glifosato y la respiración microbiana (CO<sub>2</sub>)

En la Figura 13 se muestra los efectos de las dosis de glifosato en el contenido de CO<sub>2</sub> en los suelos de los tratamientos evaluados, donde se presentó una regresión lineal simple descendente. La recta de regresión simple es descendente, con un coeficiente de determinación positivo en los tratamientos ( $R^2 = 0.6832$ ,  $R^2 = 0.9209$  y  $R^2 = 0.6138$ ), debido posiblemente a la presencia de macro y micro fauna, los que no contenían los alimentos necesarios por el efecto letal del glifosato.

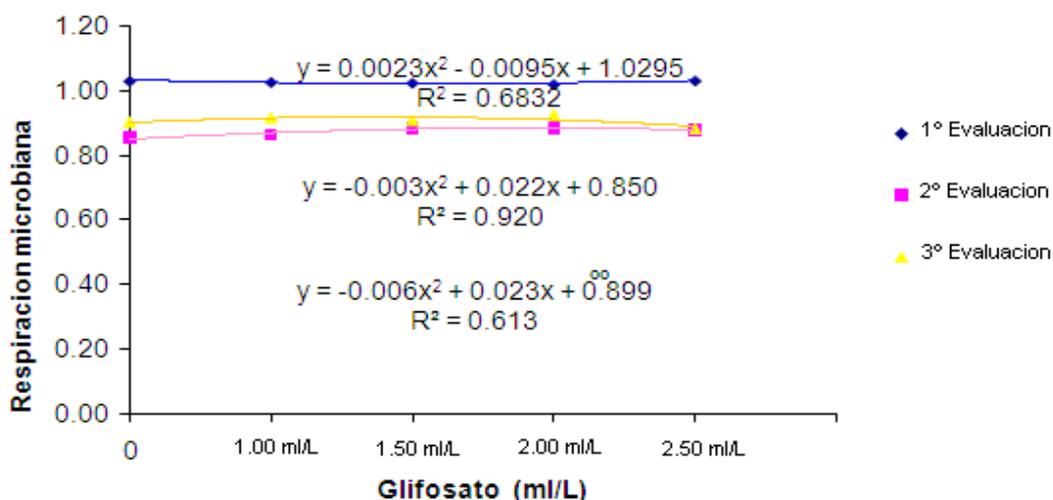


Figura 13. Regresión para las concentraciones de glifosato y de CO<sub>2</sub> en el suelo

En el Cuadro 14, para la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ), se observa que para los tratamientos de la primera y segunda evaluación no presentan diferencias significativas, mientras que para la tercera evaluación si existe diferencias significativas ya que presenta una disminución de CO<sub>2</sub>, debido a la disminución de nutrientes en el ambiente y a la muerte de la población microbiana, mientras que en promedio general de todas las evaluaciones realizadas en los tratamientos no presentan diferencias significativas.

Cuadro 14. Prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para la concentración de CO<sub>2</sub> en el suelo

1º Eval.			2º Eval.			3º Eval.			Promedio		
Trat.	Media	Grupo									
GL <sub>4</sub>	1.03	a	GL <sup>2</sup>	0.88	a	GL <sub>3</sub>	0.93	a	GL <sub>3</sub>	0.94	a
GL <sub>0</sub>	1.03	a	GL <sub>3</sub>	0.88	a	GL <sub>1</sub>	0.92	a b	GL <sub>2</sub>	0.94	a
GL <sub>1</sub>	1.02	a	GL <sub>4</sub>	0.88	a	GL <sub>2</sub>	0.91	a b	GL <sub>1</sub>	0.93	a
GL <sub>2</sub>	1.02	a	GL <sub>1</sub>	0.86	a	GL <sub>0</sub>	0.90	a b	GL <sub>4</sub>	0.91	a
GL <sub>3</sub>	1.02	a	GL <sub>0</sub>	0.85	a	GL <sub>4</sub>	0.88	b	GL <sub>0</sub>	0.93	a
CV= 1.33%			CV= 3.01%			CV= 2.65%			CV= 0.98%		

GL<sub>1</sub>= Glifosato, 1 mL

GL<sub>2</sub>= Glifosato, 1.5 mL

GL<sub>3</sub>= Glifosato 2.0 mL

GL<sub>4</sub>= Glifosato, 2.5 mL

GL<sub>0</sub>= Sin aplicación

De acuerdo a esto, los resultados muestran que evidentemente el herbicida actúa sobre la población microbiana presentando un comportamiento decreciente en el contenido de CO<sub>2</sub>. La presencia de glifosato en el suelo puede causar cambios en la población y la actividad microbiana del suelo (ARAUJO *et al.* 2003) así lo demuestran numerosos experimentos que evalúan

los efectos perjudiciales del herbicida sobre diferentes microorganismos (QUINN *et al.* 1988).

Al respecto, TORSTENSSON (1985) manifiesta que en un estudio anaerobio con suelos forestales, los valores están basados en la liberación de CO<sub>2</sub> que variaron entre 6 y 200 días. La mineralización se encontró correlacionada con la tasa de respiración del suelo, pero no con el pH ni con el contenido de materia orgánica del mismo, tal hallazgo fue confirmado por TORSTENSSON (1985).

FERNÁNDEZ (2007) manifiesta que a los 20 días de la aplicación del herbicida, el suelo tratado con glifosato liberaría un 18% más de CO<sub>2</sub> acumulado en la respiración que el suelo testigo.

En función de los resultados obtenidos se puede constatar que es afirmativo y en la respiración microbiana acumulada es posible deducir que la mineralización del carbono tuvo un patrón similar a lo largo del período experimental tanto en el control como en el tratamiento con glifosato y que la degradación microbiana del herbicida se dio probablemente mediante un proceso de catabolismo y no de cometabolismo. WHO (2000) detalla que es de suma importancia para la ciencia ya que ciertas evaluaciones bioquímicas hechas para medir el grado de mineralización del carbono y del nitrógeno, no evidenciaron incrementos debidos a algún efecto depresivo del glifosato sobre

la actividad microbiana, la cual es importante para prevenir o reducir la mineralización del carbono y nitrógeno.

La actividad respiratoria del suelo es un parámetro adecuado para monitorear actividades degradativas. ANDERSON *et al.* (1981) manifiestan que para una evaluación se pueden presentar grandes fluctuaciones dependiendo de la disponibilidad de sustratos, humedad y temperatura.

Finalmente, podemos indicar que la población de microorganismos se ve seriamente afectada por la aplicación de herbicidas. Sin embargo, en el caso de los glifosatos puede tener efectos positivos en la comunidad microbiana, especialmente en bacterias, ya que estas pueden usarlo como fuente de carbono. EDSON *et al.* (2007), realizó una investigación en la población de microorganismos de la rizósfera en soya con aplicación de glifosato, imazaquin y trifluralin, donde el tratamiento con glifosato resultó en aumento continuo de valores medios en la biomasa microbiana del suelo a lo largo del estudio. Al respecto, Haney (2000) y Busse (2001), citados por EDSON *et al.* (2007), dicen que existen otros reportes donde la aplicación de los glifosatos incrementa la población de microorganismos (bacteria) gracias a su capacidad para usar la molécula de glifosato ó como fuente de C, N y P.

## V. CONCLUSIONES

1. El herbicida glifosato mostró efectos negativos en cuanto a la respiración microbiana (fungi), quien por cada gramo de suelo se encuentra fluctuando en la primera evaluación entre 1.03 (TGL<sub>4</sub>) y 1.02 (TGL<sub>1</sub>), en la segunda evaluación entre 0.85 (TGL<sub>0</sub>) y 0.88 (GL-2) y en la tercera evaluación entre 0.93 (TGL<sub>3</sub>) y 0.88 (TGL<sub>4</sub>), mientras el promedio general fluctúa entre 0.94 (TGL<sub>3</sub>) a 0.93 (TGL<sub>4</sub>).
2. El herbicida glifosato incrementó la concentración de ácidos húmicos en la primera evaluación de 0.11 (TGL<sub>0</sub>) a 0.16 (TGL<sub>1</sub>), en la segunda evaluación de 0.11 (TGL<sub>0</sub>) a 0.17 ppm (TGL<sub>2</sub>) y en la tercera evaluación presentó un descenso de 0.17 (TGL<sub>0</sub>) a 0.02 (TGL<sub>3</sub>); la concentración de ácidos fúlvicos variaron en la primera evaluación de 0.12 (TGL<sub>0</sub>) a 0.14 (TGL<sub>2</sub>), en la segunda evaluación de 0.21 (TGL<sub>0</sub>) a 0.26 (TGL<sub>1</sub>) y en la tercera evaluación 0.36 (TGL<sub>0</sub>) a 0.40 ppm (TGL<sub>3</sub>) y, la concentración ácido himatomelánico se incrementó en la primera evaluación de 0.27 (TGL<sub>0</sub>) a 0.29 (TGL<sub>3</sub>), en la segunda evaluación disminuyó de 0.04 (TGL<sub>0</sub>) a 0.15 (TGL<sub>1</sub>), mientras que en la tercera evaluación se incrementó de 0.42 (TGL<sub>0</sub>) a 0.55 ppm (TGL<sub>3</sub>).

3. El herbicida glifosato incrementó la concentración de fósforo disponible en el suelo, en la primera evaluación varió de 7.38 (TGL<sub>0</sub>) a 14.15 (TGL<sub>3</sub>) y en la tercera evaluación de 8.71 (TGL<sub>0</sub>) a 15.78 ppm (TGL<sub>3</sub>).
  
4. La temperatura del suelo se incrementó de 23.42 (TGL-0) a 24.43°C (TGL<sub>4</sub>) mostrando resultados desfavorables ante la cubierta vegetal, pero favorable para rápida descomposición. De igual manera el pH del suelo pasó de 5.17 (TGL<sub>0</sub>) a 5.42 (TGL<sub>2</sub>) y, el contenido de materia orgánica se incrementó de 2.92 (TGL<sub>0</sub>) a 3.18 (TGL<sub>1</sub>) mostrando resultados favorables.

## VI. RECOMENDACIONES

1. No utilizar herbicidas como glifosatos (sistémicos) para el control de malezas, pues afecta la microflora fúngica y altera las propiedades físicas y químicas del suelo, que a lo largo del tiempo podría afectar su calidad ya que estos productos luego ingresarán a la cadena alimenticia.
2. Investigar el efecto del glifosato en el comportamiento de los microorganismos (población bacteriana y fungi), estructura molecular, proceso de degradación y formación de la materia orgánica del suelo, para la mineralización del herbicida.
3. Debido a la gran similitud existente en las parcelas tratadas y control debido a que todas estuvieron sometidas a 6 meses de aplicaciones de glifosato, diferenciándose únicamente en las 3 aplicaciones realizadas cada dos meses, se recomienda que las parcelas tratadas deberían ser más amplias y más distanciadas entre sí.
4. Realizar estudios sobre el efecto de los factores climatológicos en la aplicación y comportamiento del glifosato y otros herbicidas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2. ALCÂNTARA, E.; AZEVEDO, J.; FERREIRA, M.; 2007. Métodos de controle de plantas invasoras na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e componentes da acidez do solo. Ciênc. Solo. Viçosa. 31(6)
3. ALEXANDER, M. 1998. Introducción a la microbiología del suelo. Traducido por José Peña Cabriales. 2<sup>da</sup> Edición. México. Libros y Editores S.A. p. 47- 62.
4. ANDERSON, D.; SAGGAR, S.; BETTANY, J.R. y STEWART, J W.B. 1981. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. Nature and distribution of carbon, nitrogen and sulfur. Soil Sci. Soc. Am. J., 45. p. 767-772.
5. ARAÚJO, A.; MONTEIRO, R. y ABARKELI, R. 2003. Effect of glyphosate on microbial activity of two Brazilian soils. Chemosphere, Oxford. 52: 799-804.
6. BLACK, C. 1965. Methods of soils Analysis. Part II chemical and Microbiological Propertres. BARRIUSO E., SCHIAVON M., ANDREUX F., PORTAL J. M., 1991b - Localization of atrazine non-

extractable (bound) residues in soil size fractions. *Chemosphere*, 22 (12): 1131-1140.

7. CALDERÓN, M.; QUINTANA, M.; LOPEZ-PIÑEIRO, A.; HERMOSÍN, M. y CORNEJO, J. 2005. Estudio preliminar sobre el comportamiento del herbicida en dos suelos de Extremadura. 7: 24-28.
8. COYNE, M. 2000. *Microbiología del suelo: un enfoque Exploratorio*. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 415 pp.
9. ÉDSON, J.; SMIDERLEI, O.; PRATA, M. GOUVÊA, N. 2007. População microbiana em solo cultivado com soja e tratado com diferentes herbicidas em área de cerrado no estado de Roraima. *Acta Amaz. Manaus*. 37 (2): 201-212.
10. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (Washington, United States). Registration eligibility decision (RED): glyphosate. Available at: <http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/oldreds/glyphosate.pdf> Accessed in: Feb.07, 2003.
11. FERNANDEZ, G. 2007. Efeitos de herbicidas na microbiota do solo em sistema fechado. Tesis Doctorado. Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil, Universidad de Estadual Paulista. 60p.

12. HANS, W. y FASSBENDDER. 1975. Química de Suelos com enfasis em suelos de América Latina. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: Soil Sci. Soc. Am. J., 45. p. 255
13. MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M. PARKER, J. 2004. Biología de los microorganismos. PEARSON EDUCACION S.A. Madrid España. Décima Edición. p. 986
14. ORTEGA, S. F. 1985. Composición fraccional del humus en suelos de Cuba En: Tesis para opción del grado a Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Suelo, La Habana, Cuba. p. 386
15. PEÑA, E.; COMPANIONI, N.; CARRIÓN, M. y RODRÍGUEZ. 2000. La materia orgánica: Su producción y manejo. En: Organopónicos y la producción de alimentos en la Agricultura Urbana. Seminario-Taller. FIDA.MINAG-CIARA. p. 16-25.
16. PÉREZ, F. y JOSINO, C.M. 2007. Saúde e ambiente em sua relação com o consumo de agrotóxicos em um pólo agrícola do Estado do Rio de Janeiro Brasil. Cad. Saúde Pública. Rio de Janeiro. 23(4): 612-621.
17. QUINN, J. 1988. Glyphosate tolerance and utilization by the microflora of soils treated with the herbicide. Applied Microbiology and Biotechnology 29: 511- 516.

18. SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.; HARTEL, P.G. y ZUBERER, D.A. 2007. Principles and applications of soil microbiology. United States of America. Hall. Inc. p. 480.
19. TORO, V. 2005. Suelos Forestales y Nutrición, alternativas de control de malezas con herbicidas cuestionados por los sellos de certificación. (En línea). [www/http.interaccion.suelo-herbicida-pdf](http://www.interaccion.suelo-herbicida-pdf). Octubre 2010.
20. TORSTESSON, L. 1985. Behaviour of glyphosate in soils and its degradation. En: The herbicide glyphosate (Grossbard.E; Atkinson D., eds). London, Butterworth. pp.137-149
21. WHO, G. 2000. International Programme on Chemical Safety, [En línea]: IPCS, ([http// www. Environmental Health/ Glyphosate/ Chapter 7](http://www.EnvironmentalHealth/Glyphosate/Chapter7). 10 Abril 2011).
22. WILLIAMS, G.M.; KROES, R. y MUNRO, I.C. 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 31 (2): 117-165
23. ZAVALETA, G.A. 1992. Edafología "El suelo en relación con su producción". Biblioteca Nacional del Perú. Lima, Perú. 233 pág.

## **VIII. ANEXO**

## 8.1. Evaluación de propiedades físicas

**Cuadro 14.** Evaluación de temperatura de la parcela con aplicación de glifosato.

Tratamiento	1º Eval.	2º Eval.	3º Eval.	Promedio Eval.
TG <sub>1</sub> - B I	23.10	22.70	24.70	23.50
TG <sub>2</sub> - B I	23.40	22.10	25.40	23.63
TG <sub>3</sub> - B I	23.50	22.30	26.00	23.93
TG <sub>4</sub> - B I	24.20	23.10	27.50	24.93
TG <sub>0</sub> - B I	23.80	22.20	25.00	23.66
TG <sub>1</sub> - B II	24.20	23.00	26.60	24.60
TG <sub>2</sub> - B II	23.30	22.20	26.00	23.83
TG <sub>3</sub> - B II	23.50	22.50	27.60	24.53
TG <sub>4</sub> - B II	24.00	23.00	27.60	24.86
TG <sub>0</sub> - B II	23.70	22.60	24.50	23.60
TG <sub>1</sub> - B III	24.10	23.10	26.60	24.60
TG <sub>2</sub> - B III	24.20	23.20	27.70	25.03
TG <sub>3</sub> - B III	23.30	22.30	24.40	23.33
TG <sub>4</sub> - B III	23.50	22.30	24.70	23.50
TG <sub>0</sub> - B III	23.20	22.30	23.50	23.00

## 8.2. Evaluación de propiedades químicas

**Cuadro 15.** Evaluación del pH de las parcelas con aplicación de glifosato

Tratamiento	1º Eval.	2º Eval.	3º Eval.	Promedio
TG <sub>1</sub> - BI	5.94	5.46	5.98	5.79
TG <sub>2</sub> - BI	5.51	5.49	5.63	5.54
TG <sub>3</sub> - BI	5.45	5.11	5.70	5.42
TG <sub>4</sub> - BI	5.22	4.73	5.75	5.23
TG <sup>0</sup> - BI	5.30	4.99	5.60	5.29
TG <sub>1</sub> - BII	5.25	4.98	5.43	5.22
TG <sub>2</sub> - BII	5.47	4.84	5.81	5.37
TG <sub>3</sub> - BII	5.20	4.92	5.39	5.17
TG <sub>4</sub> - BII	5.16	5.02	5.52	5.23
TG <sub>0</sub> - BII	5.12	5.11	5.15	5.12
TG <sub>1</sub> - BIII	5.23	5.00	5.55	5.26
TG <sub>2</sub> - BIII	5.32	4.89	5.88	5.36
TG <sub>3</sub> - BIII	5.61	4.90	5.58	5.36
TG <sub>4</sub> - BIII	5.41	4.98	5.38	5.25
TG <sub>0</sub> - BIII	5.23	4.81	5.27	5.10

**Cuadro 16.** Evaluación porcentual de la materia orgánica de las parcelas con aplicación de glifosato

Tratamiento	1º Eval.	2º Eval.	3º Eval.	Promedio Eval.
TG <sub>1</sub> - B I	2.43	2.30	4.90	3.21
TG <sub>2</sub> - B I	2.66	2.44	3.40	2.83
TG <sub>3</sub> - B I	2.59	2.20	4.90	3.23
TG <sub>4</sub> - B I	1.98	1.90	4.70	2.86
TG <sub>0</sub> - B I	2.51	2.00	4.60	3.03
TG <sub>1</sub> - B II	2.89	2.70	4.40	3.33
TG <sub>2</sub> - B II	2.36	2.10	5.20	3.22
TG <sub>3</sub> - B II	2.43	2.00	4.30	2.91
TG <sub>4</sub> - B II	2.43	1.60	5.20	3.07
TG <sub>0</sub> - B II	1.90	1.93	4.90	2.91
TG <sub>1</sub> - B III	2.13	2.00	4.90	3.01
TG <sub>2</sub> - B III	1.98	1.50	5.10	2.86
TG <sub>3</sub> - B III	2.59	2.31	4.50	3.13
TG <sub>4</sub> - B III	2.36	2.27	4.50	3.04
TG <sub>0</sub> - B III	1.90	1.70	4.90	2.83

**Cuadro 17.** Evaluación porcentual de fósforo en la parcela con aplicación de glifosato

Tratamiento	1º Eval.	2º Eval.	3º Eval.	Promedio Eval.
TG <sub>1</sub> - B I	10.49	5.02	12.54	9.35
TG <sub>2</sub> - B I	12.11	6.64	14.24	11.00
TG <sub>3</sub> - B I	12.53	6.55	14.62	11.23
TG <sub>4</sub> - B I	12.71	7.53	14.71	11.65
TG <sub>0</sub> - B I	8.84	4.60	9.84	7.76
TG <sub>1</sub> - B II	9.64	5.06	10.64	8.45
TG <sub>2</sub> - B II	11.86	5.95	12.86	10.22
TG <sub>3</sub> - B II	12.05	6.64	14.05	10.92
TG <sub>4</sub> - B II	13.45	7.53	15.45	12.14
TG <sub>0</sub> - B II	7.24	4.04	8.24	6.51
TG <sub>1</sub> - B III	9.05	4.01	11.05	8.04
TG <sub>2</sub> - B III	14.26	4.51	16.26	11.68
TG <sub>3</sub> - B III	17.57	4.78	16.57	12.97
TG <sub>4</sub> - B III	15.19	4.55	17.19	12.31
TG <sub>0</sub> - B III	6.06	4.18	8.07	6.10

### 8.3. Evaluación de propiedades biológicas

**Cuadro 18.** Evaluación de CO<sub>2</sub> en la parcela con aplicación de glifosato

Tratamiento	1º Eval.	2º Eval.	3º Eval.	Promedio CO <sub>2</sub>
TG <sub>1</sub> - B I	1.030	0.840	0.94	0.93
TG <sub>2</sub> - B I	1.030	0.880	0.92	0.94
TG <sub>3</sub> - B I	1.020	0.870	0.89	0.93
TG <sub>4</sub> - B I	1.030	0.870	0.87	0.92
TG <sub>0</sub> - B I	1.060	0.780	0.88	0.91
TG <sub>1</sub> - B II	1.020	0.870	0.91	0.94
TG <sub>2</sub> - B II	1.010	0.890	0.88	0.93
TG <sub>3</sub> - B II	1.020	0.870	0.94	0.95
TG <sub>4</sub> - B II	1.030	0.870	0.88	0.93
TG <sub>0</sub> - B II	1.010	0.900	0.89	0.94
TG <sub>1</sub> - B III	1.010	0.860	0.89	0.926
TG <sub>2</sub> - B III	1.010	0.870	0.91	0.937
TG <sub>3</sub> - B III	1.000	0.900	0.94	0.948
TG <sub>4</sub> - B III	1.020	0.880	0.88	0.931
TG <sub>0</sub> - B III	1.000	0.870	0.93	0.934

**Cuadro 19.** Evaluación de las fracciones húmicas parcela con aplicación de glifosato. Primera evaluación

Tratamiento	W muestra	% Materia orgánica	Acido Fúlvico	Acidos húmicos	Acidos himatomelánicos
TG <sub>1</sub> - B I	20	2.43	0.10	0.21	0.15
TG <sub>2</sub> - B I	20	2.66	0.11	0.21	0.04
TG <sub>3</sub> - B I	20	2.59	0.13	0.09	0.35
TG <sub>4</sub> - B I	20	1.98	0.07	0.11	0.21
TG <sub>0</sub> - B I	20	2.51	0.14	0.05	0.11
TG <sub>1</sub> - B II	20	2.89	0.16	0.15	0.11
TG <sub>2</sub> - B II	20	2.36	0.15	0.15	0.09
TG <sub>3</sub> - B II	20	2.43	0.13	0.07	0.28
TG <sub>4</sub> - B II	20	2.43	0.12	0.20	0.17
TG <sub>0</sub> - B II	20	1.90	0.13	0.19	0.36
TG <sub>1</sub> - B III	20	2.13	0.16	0.14	0.07
TG <sub>2</sub> - B III	20	1.98	0.17	0.04	0.09
TG <sub>3</sub> - B III	20	2.59	0.08	0.13	0.25
TG <sub>4</sub> - B III	20	2.36	0.13	0.05	0.34
TG <sub>0</sub> - B III	20	1.90	0.11	0.08	0.36

**Cuadro 20.** Evaluación de las fracciones húmicas parcela con aplicación de glifosato. Segunda evaluación

Tratamiento	W muestra	% Materia orgánica	Ac. Fúlvicos	Ácidos húmicos	Ácidos himatomelánico
TG <sub>1</sub> - B I	20	2.30	0.27	0.03	0.15
TG <sub>2</sub> - B I	20	2.44	0.21	0.24	0.04
TG <sub>3</sub> - B I	20	2.20	0.29	0.12	0.03
TG <sub>4</sub> - B I	20	1.90	0.27	0.08	0.02
TG <sub>0</sub> - B I	20	2.00	0.27	0.11	0.02
TG <sub>1</sub> - B II	20	2.70	0.19	0.08	0.25
TG <sub>2</sub> - B II	20	2.10	0.19	0.17	0.05
TG <sub>3</sub> - B II	20	2.00	0.15	0.22	0.03
TG <sub>4</sub> - B II	20	1.60	0.17	0.08	0.06
TG <sub>0</sub> - B II	20	1.93	0.17	0.15	0.05
TG <sub>1</sub> - BIII	20	2.00	0.31	0.03	0.05
TG <sub>2</sub> - BIII	20	1.50	0.18	0.09	0.02
TG <sub>3</sub> - BIII	20	2.31	0.19	0.09	0.17
TG <sub>4</sub> - BIII	20	2.27	0.18	0.10	0.16
TG <sub>0</sub> - BIII	20	1.70	0.18	0.08	0.06

**Cuadro 21.** Evaluación de las fracciones húmicas parcela con aplicación de glifosato. Tercera evaluación

Tratamiento	W muestra	% Materia orgánica	Acido Fúlvicos	Ácidos húmicos	Ácidos himatomelánico
TG <sub>1</sub> - B I	20	4.90	0.34	0.02	0.63
TG <sub>2</sub> - B I	20	3.40	0.39	0.16	0.13
TG <sub>3</sub> - B I	20	4.90	0.41	0.03	0.54
TG <sub>4</sub> - B I	20	4.70	0.31	0.01	0.62
TG <sub>0</sub> - B I	20	4.60	0.38	0.08	0.45
TG <sub>1</sub> - B II	20	4.40	0.29	0.02	0.56
TG <sub>2</sub> - B II	20	5.20	0.38	0.01	0.65
TG <sub>3</sub> - B II	20	4.30	0.42	0.02	0.43
TG <sub>4</sub> - B II	20	5.20	0.34	0.14	0.55
TG <sub>0</sub> - B II	20	4.90	0.37	0.09	0.51
TG <sub>1</sub> - BIII	20	4.90	0.39	0.28	0.29
TG <sub>2</sub> - BIII	20	5.10	0.28	0.03	0.70
TG <sub>3</sub> - BIII	20	4.50	0.38	0.03	0.48
TG <sub>4</sub> - BIII	20	4.50	0.41	0.08	0.41
TG <sub>0</sub> - BIII	20	4.90	0.32	0.35	0.31

**ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los bloques y tratamiento del herbicida glifosato y el P**

**Cuadro 22.** Análisis de varianza primera evaluación de P.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	101.655	25.414	7.980	0.007
BLOQUE	2	7.073	3.536	1.110	0.375
Error	8	25.465	3.183		
Total correcto	14.00	134.193			

**Cuadro 23.** Análisis de varianza segunda evaluación de P

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	10.485	2.621	6.470	0.013
BLOQUE	2	8.159	4.079	10.070	0.007
Error	8	3.241	0.405		
Total correcto	14.00	21.884			

**Cuadro 24.** Análisis de varianza tercera evaluación de P

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	105.187	26.297	20.610	0.0003
BLOQUE	2	6.297	3.149	2.470	0.1463
Error	8	10.208	1.276		
Total correcto	14.00	121.692			

**Cuadro 25.** Análisis de varianza en promedio de toda la evaluación de P

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	61.803	15.451	24.70	0.0001
BLOQUE	2	1.375	0.688	1.10	0.3787
Error	8	5.004	0.626		
Total correcto	14.00	68.18			

**Cuadro 26.** Prueba de Duncan para las evaluaciones de P.

1º Eval. P (ppm)			2º Eval. P (ppm)			3º Eval. P (ppm)			Promedio de P (ppm)		
Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo
GL <sub>3</sub>	14.15	a	GL <sub>4</sub>	6.53	a	GL <sub>4</sub>	15.78	a	GL <sub>4</sub>	12.03	a
GL <sub>4</sub>	13.78	a b	GL <sub>3</sub>	5.99	a	GL <sub>3</sub>	15.08	a	GL <sub>3</sub>	11.70	a
GL <sub>2</sub>	12.74	a b	GL <sub>2</sub>	5.70	a b	GL <sub>2</sub>	14.45	a	GL <sub>2</sub>	10.96	a
GL <sub>1</sub>	9.72	b c	GL <sub>1</sub>	4.69	b c	GL <sub>1</sub>	11.41	b	GL <sub>1</sub>	8.47	b
GL <sub>0</sub>	7.38	c	GL <sub>0</sub>	4.27	c	GL <sub>0</sub>	8.71	c	GL <sub>0</sub>	6.79	c
CV= 15.43 %			CV= 11.69 %			CV= 8.63 %			CV= 7.91 %		

#### 8.4. ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los tratamientos aplicados del herbicida glifosato y la temperatura

**Cuadro 27.** Análisis de varianza de la primera evaluación de temperatura.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.423	0.106	0.540	0.710
BLOQUE	2	0.052	0.026	0.130	0.877
Error	8	1.561	0.195		
Total correcto	14.00	2.036			

**Cuadro 28.** Análisis de varianza de la segunda evaluación de temperatura.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	1.544	0.309	4.430	0.039
BLOQUE	2	0.097	0.049	0.700	0.529
Error	8	0.488	0.070		
Total correcto	14.00	2.129			

**Cuadro 29.** Análisis de varianza de la tercera evaluación de temperatura.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	9.497	2.374	1.370	0.327
BLOQUE	2	3.049	1.525	0.880	0.453
Error	8	13.911	1.739		
Total correcto	14.00	26.457			

**Cuadro 30.** Análisis de varianza de la evaluación promedio de temperatura.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	1.803	0.451	0.950	0.482
BLOQUE	2	0.469	0.234	0.500	0.626
Error	8	3.783	0.473		
Total correcto	14.00	6.055			

**Cuadro 31.** Prueba de Duncan para las evaluaciones de temperatura.

1º Eval. Tº (°C)			2º Eval. Tº (°C)			3º Eval. Tº (°C)			Promedio de Tº. (°C)		
Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo
GL <sub>4</sub>	23.90	a	GL <sub>1</sub>	22.93	a	GL <sub>3</sub>	26.00	a	GL <sub>4</sub>	24.43	a
GL <sub>1</sub>	23.80	a	GL <sub>4</sub>	22.80	a	GL <sub>1</sub>	25.96	a	GL <sub>1</sub>	24.23	a
GL <sub>2</sub>	23.60	a	GL <sub>2</sub>	22.50	a	GL <sub>2</sub>	26.36	a	GL <sub>2</sub>	24.16	a
GL <sub>0</sub>	23.56	a	GL <sub>3</sub>	22.36	a	GL <sub>0</sub>	24.33	a	GL <sub>3</sub>	23.93	a
GL <sub>3</sub>	23.43	a	GL <sub>0</sub>	22.36	a	GL <sub>4</sub>	26.60	a	GL <sub>0</sub>	23.42	a
CV= 1.86%			CV= 1.73%			CV= 5.10%			CV= 2.86%		

## 8.5. ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los tratamientos aplicados del herbicida glifosato y pH

**Cuadro 32.** Análisis de varianza de la primera evaluación de pH

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.155	0.039	0.930	0.493
BLOQUE	2	0.149	0.074	1.780	0.229
Error	8	0.334	0.042		
Total correcto	14.00	0.638			

**Cuadro 33.** Análisis de varianza de la segunda evaluación de pH

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.106	0.026	0.570	0.695
BLOQUE	2	0.157	0.078	1.680	0.246
Error	8	0.374	0.047		
Total correcto	14.00	0.637			

**Cuadro 34.** Análisis de varianza de la tercera evaluación de pH

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.317	0.079	2.660	0.112
BLOQUE	2	0.192	0.096	3.210	0.095
Error	8	0.239	0.030		
Total correcto	14.00	0.748			

**Cuadro 35.** Análisis de varianza de la evaluación promedio de pH

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.148	0.037	2.270	0.150
BLOQUE	2	0.152	0.076	4.700	0.045
Error	8	0.130	0.016		
Total correcto	14.00	0.430			

**Cuadro 36.** Prueba de Duncan para las evaluaciones de pH

1º Eval. pH (ppm)			2º Eval. pH (ppm)			3º Eval. pH (ppm)			Promedio de pH (ppm)		
Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo
GL <sub>1</sub>	5.47	a	GL <sub>1</sub>	5.14	a	GL <sub>0</sub>	5.78	a	GL <sub>2</sub>	5.42	a
GL <sub>2</sub>	5.43	a	GL <sub>2</sub>	5.07	a	GL <sub>4</sub>	5.65	a b	GL <sub>1</sub>	5.42	a
GL <sub>3</sub>	5.42	a	GL <sub>3</sub>	4.97	a	GL <sub>1</sub>	5.65	a b	GL <sub>3</sub>	5.31	a b
GL <sub>4</sub>	5.26	a	GL <sub>0</sub>	4.97	a	GL <sub>3</sub>	5.55	a b	GL <sub>4</sub>	5.24	a b
GL <sub>0</sub>	5.21	a	GL <sub>4</sub>	4.91	a	GL <sub>2</sub>	5.34	b	GL <sub>0</sub>	5.17	b
CV= 3.81%			CV= 4.31%			CV= 3.09%			CV= 2.39%		

## 8.6. ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los tratamientos aplicados del herbicida glifosato y materia orgánica

**Cuadro 37.** Análisis de varianza de la primera evaluación.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.367	0.092	1.000	0.462
BLOQUE	2	0.173	0.086	0.940	0.429
Error	8	0.735	0.092		
Total correcto	14.00	1.274			

**Cuadro 38.** Análisis de varianza de la segunda evaluación.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.364	0.091	0.950	0.482
BLOQUE	2	0.126	0.063	0.660	0.543
Error	8	0.764	0.095		
Total correcto	14.00	1.253			

**Cuadro 39.** Análisis de varianza de la tercera evaluación.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.169	0.042	0.140	0.963
BLOQUE	2	0.281	0.141	0.460	0.646
Error	8	2.439	0.305		
Total correcto	14.00	2.889			

**Cuadro 40.** Análisis de varianza de la evaluación promedio de materia orgánica

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.129	0.032	1.190	0.384
BLOQUE	2	0.033	0.016	0.600	0.569
Error	8	0.216	0.027		
Total correcto	14.00	0.377			

**Cuadro 41.** Prueba de Duncan para evaluación promedio de materia orgánica

1º Eval. % M.O. (ppm)			2º Eval. % M.O. (ppm)			3º Eval. % M.O. (ppm)			Promedio de % M.O. (ppm)		
Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo
GL <sub>3</sub>	2.53	a	GL <sub>1</sub>	2.33	a	GL <sub>0</sub>	4.80	a	GL <sub>1</sub>	3.18	a
GL <sub>1</sub>	2.48	a	GL <sub>3</sub>	2.17	a	GL <sub>4</sub>	4.80	a b	GL <sub>3</sub>	3.09	a
GL <sub>2</sub>	2.33	a	GL <sub>2</sub>	2.01	a	GL <sub>1</sub>	4.73	a b	GL <sub>4</sub>	2.99	a
GL <sub>4</sub>	2.25	a	GL <sub>4</sub>	1.93	a	GL <sub>3</sub>	4.56	a b	GL <sub>2</sub>	2.97	a
GL <sub>0</sub>	2.10	a	GL <sub>0</sub>	1.87	a	GL <sub>2</sub>	4.56	b	GL <sub>0</sub>	2.92	a
CV= 12.93%			CV= 16.66%			CV= 11.76%			CV= 5.41%		

## 8.7. ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los tratamientos aplicados del herbicida glifosato y ácido fúlvico

**Cuadro 42.** Análisis de varianza de la primera evaluación de ácido fúlvico.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.004	0.001	1.010	0.458
BLOQUE	2	0.002	0.001	1.130	0.368
Error	8	0.007	0.001		
Total correcto	14.00	0.013			

**Cuadro 43.** Análisis de varianza de la segunda evaluación de ácido fúlvico.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.007	0.002	1.670	0.249
BLOQUE	2	0.019	0.010	8.500	0.011
Error	8	0.019	0.001		
Total correcto	14.00	0.036			

**Cuadro 44.** Análisis de varianza de la tercera evaluación de ácido fúlvico.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.007	0.002	0.710	0.607
BLOQUE	2	0.000	0.001	0.020	0.977
Error	8	0.020	0.003		
Total correcto	14.00	0.028			

**Cuadro 45.** Análisis de varianza de la evaluación promedio de ácido fúlvico.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.001	0.000	0.400	0.800
BLOQUE	2	0.001	0.001	0.730	0.514
Error	8	0.016	0.001		
Total correcto	14.00	0.018			

**Cuadro 46.** Prueba de Duncan para la evaluación promedio de ácido fúlvico.

1º Eval. Ac. fúlv. (ppm)			2º Eval. Ac. fúlv. (ppm)			3º Eval. Ac. fúlv. (ppm)			Promedio de Ac. fúlv. (ppm)		
Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo
GL <sub>2</sub>	0.14	a	GL <sub>1</sub>	0.26	a	GL <sub>3</sub>	0.40	a	GL <sub>1</sub>	0.25	a
GL <sub>1</sub>	0.14	a	GL <sub>4</sub>	0.21	a b	GL <sub>0</sub>	0.36	a	GL <sub>3</sub>	0.24	a
GL <sub>0</sub>	0.12	a	GL <sub>3</sub>	0.21	a b	GL <sub>4</sub>	0.35	a	GL <sub>0</sub>	0.23	a
GL <sub>3</sub>	0.11	a	GL <sub>0</sub>	0.21	a b	GL <sub>2</sub>	0.35	a	GL <sub>2</sub>	0.23	a
GL <sub>4</sub>	0.11	a	GL <sub>2</sub>	0.19	b	GL <sub>1</sub>	0.34	a	GL <sub>4</sub>	0.22	a
CV= 23.11%			CV= 15.26%			CV= 13.89%			CV= 11.58%		

## 8.8. ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los tratamientos aplicados del herbicida glifosato y ácido húmico

**Cuadro 47.** Análisis de varianza de la primera evaluación de ácido húmico.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.008	0.002	0.490	0.744
BLOQUE	2	0.012	0.006	1.460	0.288
Error	8	0.033	0.004		
Total correcto	14.00	0.052			

**Cuadro 48.** Análisis de varianza de la segunda evaluación de ácido húmico.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.008	0.002	0.490	0.744
BLOQUE	2	0.012	0.016	1.460	0.288
Error	8	0.033	0.004		
Total correcto	14.00	0.052			

**Cuadro 49.** Análisis de varianza de la tercera evaluación de ácido húmico.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.037	0.009	0.880	0.519
BLOQUE	2	0.033	0.016	1.570	0.266
Error	8	0.084	0.010		
Total correcto	14.00	0.153			

**Cuadro 50.** Análisis de varianza de la evaluación promedio de ácido húmico.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.018	0.005	0.980	0.471
BLOQUE	2	0.006	0.003	0.680	0.535
Error	8	0.038	0.005		
Total correcto	14.00	0.063			

**Cuadro 51.** Prueba de Duncan para la evaluación promedio de ácido húmico.

1º Eval. Ac. H. (ppm)			2º Eval. Ac. H. (ppm)			3º Eval. Ac. H. (ppm)			Promedio de Ac. H. (ppm)		
Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo	Trat.	Media	Grupo
GL <sub>1</sub>	0.16	a	GL <sub>2</sub>	0.17	a	GL <sub>0</sub>	0.17	a	GL <sub>0</sub>	0.18	a
GL <sub>2</sub>	0.14	a	GL <sub>3</sub>	0.14	a	GL <sub>1</sub>	0.11	a	GL <sub>2</sub>	0.13	a
GL <sub>4</sub>	0.12	a	GL <sub>4</sub>	0.09	a	GL <sub>4</sub>	0.07	a	GL <sub>1</sub>	0.11	a
GL <sub>0</sub>	0.11	a	GL <sub>1</sub>	0.05	a	GL <sub>2</sub>	0.06	a	GL <sub>4</sub>	0.09	a
GL <sub>3</sub>	0.09	a	GL <sub>0</sub>	0.11	a	GL <sub>3</sub>	0.02	a	GL <sub>3</sub>	0.08	a
CV= 50.69%			CV= 36.72%			CV= 112.21%			CV= 56.76%		

**8.9. ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los tratamientos aplicados del herbicida glifosato y ácidos himatomelánico**

**Cuadro 52.** Análisis de varianza, primera evaluación.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.122	0.030	3.900	0.048
BLOQUE	2	0.007	0.004	0.450	0.652
Error	8	0.062	0.008		
Total correcto	14.00	0.191			

**Cuadro 53.** Análisis de varianza, segunda evaluación.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.025	0.006	1.250	0.365
BLOQUE	2	0.006	0.003	0.620	0.560
Error	8	0.040	0.005		
Total correcto	14.00	0.071			

**Cuadro 54.** Análisis de varianza, tercera evaluación.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.030	0.007	0.220	0.918
BLOQUE	2	0.059	0.030	0.890	0.448
Error	8	0.267	0.033		
Total correcto	14.00	0.356			

**Cuadro 55.** Análisis de varianza para evaluación promedio de ácido himatomelánico.

ANVA	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.014	0.004	0.570	0.689
BLOQUE	2	0.005	0.003	0.420	0.671
Error	8	0.050	0.006		
Total correcto	14.00	0.069			

**Cuadro 56.** Prueba de Duncan de la evaluación promedio de ácido himatomelánico.

1º Eval. Ac. himat. (ppm)			2º Eval. Ac. himat. (ppm)			3º Eval. Ac. Himat. (ppm)			Promedio de Ac. himat. (ppm)		
Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo
GL <sub>3</sub>	0.29	a	GL <sub>1</sub>	0.15	a	GL <sub>3</sub>	0.55	a	GL <sub>3</sub>	0.28	a
GL <sub>0</sub>	0.27	a b	GL <sub>4</sub>	0.08	a	GL <sub>4</sub>	0.52	a	GL <sub>4</sub>	0.28	a
GL <sub>4</sub>	0.24	a b	GL <sub>3</sub>	0.07	a	GL <sub>1</sub>	0.49	a	GL <sub>1</sub>	0.25	a
GL <sub>1</sub>	0.12	b c	GL <sub>0</sub>	0.04	a	GL <sub>2</sub>	0.49	a	GL <sub>0</sub>	0.25	a
GL <sub>2</sub>	0.07600	c	GL <sub>2</sub>	0.04	a	GL <sub>0</sub>	0.42	a	GL <sub>2</sub>	0.20	a
CV= 43.49%			CV= 89.88%			CV= 36.56%			CV= 30.88%		

## 8.10. ANVA y prueba de Duncan para determinar la significancia entre los tratamientos aplicados del herbicida glifosato y CO<sub>2</sub>

**Cuadro 57.** Análisis de varianza para la primera evaluación de CO<sub>2</sub>.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.000	0.00	0.440	0.780
BLOQUE	2	0.002	0.001	4.360	0.053
Error	8	0.001	0.00		
Total correcto	14.00	0.003			

**Cuadro 58.** Análisis de varianza para la segunda evaluación de CO<sub>2</sub>.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.002	0.001	0.760	0.579
BLOQUE	2	0.003	0.002	2.200	0.173
Error	8	0.006	0.001		
Total correcto	14.00	0.011			

**Cuadro 59.** Análisis de varianza para la tercera evaluación de CO<sub>2</sub>.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.004	0.001	1.520	0.284
BLOQUE	2	0.000	0.000	0.380	0.694
Error	8	0.005	0.001		
Total correcto	14.00	0.009			

**Cuadro 60.** Análisis de varianza para la evaluación promedio de CO<sub>2</sub>.

ANVA	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado de la media	F - Valor	Pr > F
TRAT	4	0.000	0.00	1.230	0.372
BLOQUE	2	0.000	0.00	0.600	0.569
Error	8	0.001	0.00		
Total correcto	14.00	0.001			

**Cuadro 61.** Prueba de Duncan para las evaluaciones de CO<sub>2</sub>.

1° Eval. CO <sub>2</sub> (ppm)			2° Eval. CO <sub>2</sub> (ppm)			3° Eval. CO <sub>2</sub> (ppm)			Promedio de CO <sub>2</sub> (ppm)		
Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo	Trata	Media	Grupo
GL <sub>4</sub>	1.03	a	GL <sub>2</sub>	0.88	a	GL <sub>3</sub>	0.93	a	GL <sub>3</sub>	0.94	a
GL <sub>0</sub>	1.03	a	GL <sub>3</sub>	0.88	a	GL <sub>1</sub>	0.92	a b	GL <sub>2</sub>	0.94	a
GL <sub>1</sub>	1.02	a	GL <sub>4</sub>	0.87	a	GL <sub>2</sub>	0.91	a b	GL <sub>1</sub>	0.93	a
GL <sub>2</sub>	1.02	a	GL <sub>1</sub>	0.86	a	GL <sub>0</sub>	0.90	a b	GL <sub>4</sub>	0.93	a
GL <sub>3</sub>	1.02	a	GL <sub>0</sub>	0.85	a	GL <sub>4</sub>	0.88	b	GL <sub>0</sub>	0.93	a
CV= 1.33%			CV= 3.01%			CV= 2.65%			CV= 0.98%		

## PANEL FOTOGRÁFICO

**Figura 14.** Fumigación de las parcelas con glifosato



**Figura 15.** Identificación de las parcelas con glifosato



**Figura 16.** Muestra de suelo después de un mes de aplicación del herbicida glifosato.



**Figura 17.** Muestra de suelo después de un mes de aplicación del herbicida glifosato



**Figura 18.** Muestra de suelo después de un mes de aplicación del herbicida glifosato para su análisis respectivo.



**Figura 19.** Muestra de suelo después de un mes de aplicación del herbicida glifosato para su análisis respectivo.



**Figura 20.** Fotografías de las muestras para respectivos análisis físicos químicos y biológicos.



**Figura 21.** Fotografías de las muestras para respectivos análisis físicos químicos y biológicos



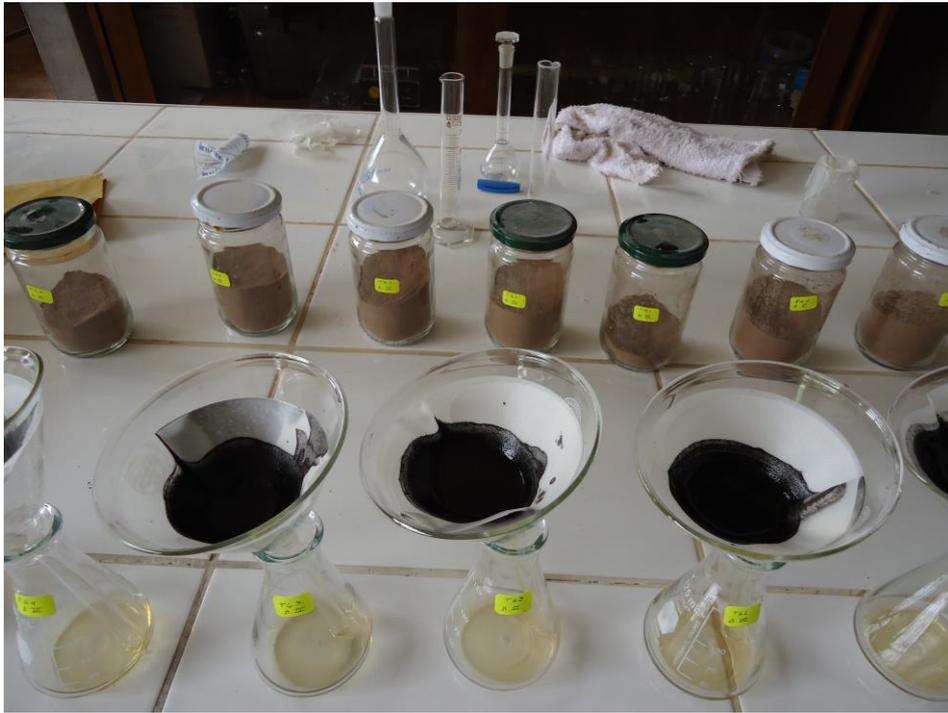
**Figura 22.** Fraccionamiento de la materia orgánica



**Figura 23.** Fraccionamiento de la materia orgánica



**Figura 24.** Análisis de fósforo en la muestra realizada



**Figura 25.** Filtrado y presencia de fosforo.

