

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN
DE SUELOS Y AGUA**



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL HERBICIDA GLIFOSATO SOBRE LAS
PROPIEDADES QUÍMICAS Y MACROFAUNA DE SUELOS CON *Pteridium
aquilinum* “MACORILLA” EN EL DISTRITO PUEBLO NUEVO**

Tesis

INGENIRO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

LIZ GIANNINA MENDOZA MUÑOZ

Tingo María – Perú

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 024-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 13 de febrero del 2020 a horas 5:10 p. m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE HERBICIDA GLIFOSATO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MACROFAUNA DEL SUELOS CON *Pteridium aquilinum*” MACORILLA” EN EL DISTRITO PUEBLO NUEVO”

Presentado por el Bachiller: **MENDOZA MUÑOZ, Liz Giannina**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 15 de Julio de 2022

Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO



Ing. M. Sc. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ
MIEMBRO

Ing. M. Sc. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
ASESOR



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 286 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

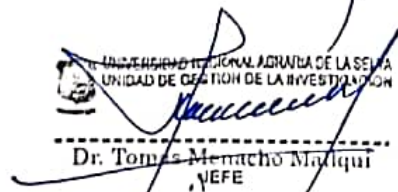
Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional
-------	---	------------------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL HERBICIDA GLIFOSATO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y MACROFAUNA DE SUELOS CON <i>Pteridium aquilinum</i> "MACORILLA" EN EL DISTRITO PUEBLO NUEVO	LIZ GIANNINA MENDOZA MUÑOZ	19 % Diecinueve

Tingo María, 09 de octubre de 2024


 Dr. Tomás Menacho Mallqui
 JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA



EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL HERBICIDA GLIFOSATO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y LA MACROFAUNA DE SUELOS CON *Pteridium aquilinum* “MACORILLA” EN EL DISTRITO PUEBLO NUEVO

Autor : Bach. Liz Giannina Mendoza Muñoz

Asesor : Ing. Lévano Crisóstomo José D.

Programa de Investigación : Manejo y conservación de suelos

Línea (s) de Investigación : Evaluación de parámetros físico químicos y biológicos

Eje Temático de Investigación : Agroforestería comunitario

Lugar de Ejecución : Distrito Pueblo Nuevo

Duración **Fecha de Inicio** : 01/02/2019

Término : 12/12/2019

Financiamiento : S/. 2,546.30

FEDU : NO

Propio : SI

Otros : NO

DEDICATORIA

*A Dios quién supo guiarme por el buen camino,
enseñándome a enfrentar las adversidades sin
perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el
intento.*

*A mis queridos padres Nelcia y Orlando; por
heredarme el tesoro más grande que es la
educación y haberme forjado en la persona que
soy; con su apoyo incondicional, consejos,
valores e impulso que me brindaron en los
momentos más difíciles de mi carrera.*

*A mi esposo José, por su cariño y gratitud; que
me ha servido de motivación.*

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que me acogió en sus aulas; y poder estudiar la carrera que me apasiona, logrando culminar con éxito mi formación profesional.

- A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica y profesional.

- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. Mg. Roberto Obregón Peña; Ing. Jaime Torres García, Ing. José V. Quiroz Ramírez, por el tiempo tomado para la evaluación de mi tesis.

- Al Ing. M.Sc. Lévano Crisóstomo José, docente de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, asesor del presente trabajo, por su función como mentor y formador, amistad y la desinteresada asistencia en la presente tesis.

- A mis grandes amigas, Xilene y Kinny, por compartir momentos inolvidables, con quienes dimos fuerzas y contagiarnos de entusiasmo para superar obstáculos en nuestra carrera profesional y personal.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. El suelo.....	3
2.1.1. Propiedades químicas del suelo	3
2.1.1.1. Materia orgánica	3
2.1.1.2. pH del suelo	4
2.1.1.3. El Nitrógeno.....	5
2.1.1.4. El fósforo	5
2.1.1.5. El potasio	6
2.1.1.6. Capacidad de intercambio catiónico	6
2.2. Glifosato.....	7
2.2.1. Mecanismo del glifosato en los suelos y planta.....	7
2.2.2. Glifosato inactivado	8
2.2.3. Malezas con tolerancia a glifosato	8
2.2.4. Factores que pueden conducir a una menor performance del glifosato.....	9
2.2.5. Comportamiento del glifosato en los suelos	9
2.2.6. Importancia del pH en la degradación de los herbicidas	11

2.3.	Plantas indicadoras de suelos ácidos	12
2.3.1.	Helecho o macorilla (Pteridophyta)	12
2.4.	Organismos del suelo	13
2.5.	Distribución de la biomasa en el suelo	13
2.6.	Antecedentes de investigación	13
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1.	Lugar de ejecución	15
3.1.1.	Características edafológicas	15
3.1.2.	Zonas de vida	15
3.2.	Materiales y métodos	15
3.2.1.	Materiales y equipos	15
3.2.1.1.	De campo	15
3.2.1.2.	De laboratorio	16
3.2.2.	Metodología	16
3.2.2.1.	Reconocimiento del área experimental	16
3.2.2.2.	Delimitación e instalación del área experimental	16
3.2.2.3.	Datos del área experimental	16
3.2.2.4.	Diseño del área experimental	17
3.2.2.5.	Recolección de muestras del suelo al iniciar la investigación	17
3.2.2.6.	Aplicación del herbicida glifosato Erraser 757	18
3.2.2.7.	Dosis empleadas por tratamiento	18

3.2.2.8. Muestreo de macrofauna.....	18
3.2.2.9. Estimación de la densidad	19
3.2.2.10. Estimación de la biomasa	19
3.2.2.11. Diversidad de especies.....	19
3.2.2.12. Variables a evaluar.	20
3.2.2.13. Determinación de las propiedades químicas del suelo	21
3.2.2.14. Modelo estadístico	21
3.2.2.15. Procesamiento de datos.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Propiedades químicas en suelos con macorilla antes y después del ensayo.....	23
4.2. Densidad, biomasa total y abundancia de especie por efecto de diferentes dosis de aplicación de glifosato.....	25
4.2.1. Densidad y biomasa total.....	25
4.3. Abundancia de individuos por orden.....	27
4.4. Diversidad o Riqueza de Especies	31
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. RECOMENDACIONES	33
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXO	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Rango de materia orgánica en el suelo.....	4
2. Niveles de pH del suelo.....	4
3. Niveles de contenido de Nitrógeno.	5
4. Niveles de contenido de fósforo.....	6
5. Niveles de contenido de potasio.....	6
6. Niveles del contenido del CIC.....	7
7. Distribución de la biomasa en el suelo.....	13
8. Dosis del herbicida Erraser 757 por cada tratamiento.....	18
9. Métodos empleados para evaluar las propiedades químicas del suelo.....	21
10. Esquema del análisis de varianza.	22
11. Promedio de indicadores químicos del suelo antes y después del ensayo experimental.....	23
12. Análisis de varianza de la densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo después de la aplicación de glifosato.....	25
13. Promedio de individuos (ind/m ²) y biomasa (g/m ²) entre tratamientos.	25
14. Sumatoria de individuos por m ² en cada tratamiento.....	27
15. Riqueza específica (S), índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna del suelo.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diseño del área experimental.	17
2. Densidad total (ind/m ²) y biomasa total (g/m ²) de la macrofauna del suelo entre tratamientos.	26
3. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T0.	28
4. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T1.	29
5. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T2.	30
6. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T3.	30
7. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T4.	30
8. Vista panorámica de la parcela con presencia de <i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla”.	41
9. Delimitación del área experimental.	41
10. Subdivisión de los tratamientos experimentales.	42
11. Obtención de muestras de suelo para evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos.	42
12. Aplicación del herbicida glifosato en diferentes concentraciones.	43
13. Identificación de macro fauna del suelo.	43
14. Conteo de lombrices en las muestras de suelo.	44
15. Determinación de las propiedades químicas del suelo en Laboratorio.	44

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la comunidad de Soledad, ubicada en el distrito de Pueblo Nuevo, en la provincia de Leoncio Prado. El objetivo fue determinar el efecto de la aplicación del glifosato en un suelo con *Pteridium aquilinum* “macorilla” sobre las propiedades químicas y la macrofauna del suelo. Se utilizó una estructura de bloques completamente aleatoria que consistía en 04 tratamientos y 03 repeticiones. Las diferentes dosis de glifosato se aplicaron a los tratamientos T0 =0.0 ml, T1=150 ml, T2=200 ml, T3=250 ml, T4=300 ml). Se realizó el muestro de suelos antes y después del ensayo, la aplicación del herbicida fue a los 15 días del establecimiento del ensayo y las evaluaciones se realizaron 30 días después. El pH, la MO, el N, el P, el K y la C.I.C. se analizaron al inicio y al final de la investigación para evaluar el impacto en las propiedades químicas del suelo. Para determinar la macrofauna del suelo se utilizó el método descrito por el Programa de Biología y Fertilidad de suelos Tropicales (TSBF) Los parámetros fueron densidad, biomasa y diversidad

Los resultados; muestran el incremento del pH, de extremadamente ácido a fuertemente ácido (T3); materia orgánica y nitrógeno (T0) a niveles medios (T4). Los niveles de fósforo y potasio de muy bajos a bajos (T3 y T4). La CICE presentó un incremento en el T2 y T3. Concluyéndose que a mayor dosis de glifosato existe efecto en el control de *Pteridium aquilinum* “macorilla”, sobre algunas propiedades químicas del suelo. El T0 presentó mayor número de individuos y biomasa total en comparación con T4 y T3, quienes mostraron menor número de individuos y biomasa total. Por lo que, se aprecia un efecto negativo del herbicida sobre la macrofauna del suelo. El T0 mostró mayor abundancia, destacándose los órdenes Gasterópoda Isópoda, Araneae, Hymenóptera Lepidóptera y Orthoptera, mientras que, para T1 fue Hymenóptera, Isópoda, Orthoptera, Hemíptera y Coleóptera. Para T2, los órdenes Orthoptera, Araneae, Hymenóptera y Coleóptera. Para T3 los órdenes fueron Haploxida, Hymenóptera, Miriapodos, Araneae. Finalmente, para T4 fue Haploxida, Orthoptera y Araneae. El T0 y T1 obtuvieron mayor riqueza específica, mientras que T3 y T4 mostraron menor riqueza. Para el índice de Shannon-Weaver (H'), T0 fue lo más variado en comparación con los demás tratamientos. A su vez tuvieron menor diversidad los T3 y T4. Concluyéndose finalmente que existe un efecto negativo de las dosis de glifosato sobre la biocenosis.

Palabras claves: Suelos, propiedades, macorilla, herbicida glifosato.

**EFFECT OF THE APPLICATION OF THE HERBICIDE GLYPHOSATE ON THE
CHEMICAL PROPERTIES AND MACROFAUNA OF SOILS WITH *Pteridium
aquilinum* "MACORILLA" IN THE PUEBLO NUEVO DISTRICT**

ABSTRACT

The investigation was carried out in the community of Soledad, located in the district of Pueblo Nuevo, in the province of Leoncio Prado. The objective was to determine the effect of the application of glyphosate in a soil with *Pteridium aquilinum* "macorilla" on the chemical properties and macrofauna of the soil. A completely randomized block structure was used consisting of 04 treatments and 03 repetitions. Different doses of glyphosate were applied to the treatments (T0=0.0 ml, T1=150 ml, T2=200 ml, T3=250 ml, T4=300 ml). Soil sampling was carried out before and after the trial, the herbicide was applied 15 days after the trial was established and the evaluations were carried out 30 days later.

The pH, MO, N, P, K and C.I.C were analyzed at the beginning and at the end of the investigation to evaluate the impact on the chemical properties of the soil. To determine the soil macrofauna, the method described by the Tropical Soil Biology and Fertility Program (TSBF) was used. The parameters were density, biomass and diversity.

The results; shows the increase in pH, from extremely acidic to acidic (T3); organic matter and nitrogen (T0) at medium levels (T4). Very low to low phosphorus and potassium levels (T3 and T4). The ICCe showed an increase in T2 and T3. Concluding that there is a higher dose of glyphosate effect in the control of *Pteridium aquilinum* "macorilla", on some chemical properties of the soil. T0 presented a higher number of individuals and total biomass compared to T4 and T3, who showed a lower number of individuals and total biomass. Therefore, a negative effect of the herbicide on the soil macrofauna is appreciated. The T0 showed greater abundance, standing out the orders Gasterópoda Isópoda, Araneae, Hymenóptera Lepidoptera and Orthoptera, while for T1 it was Hymenóptera, Isópoda, Orthoptera, Hemíptera and Coleóptera. For T2, the orders Orthoptera, Araneae, Hymenoptera and Coleoptera. For T3 the orders were Haploxida, Hymenoptera, Miriapodos, Araneae.

Finally, for T4 it was Haploxyida, Orthoptera and Araneae. T0 and T1 acquired higher sp richness, while T3 and T4 showed less richness. For the Shannon-Weaver (H') index, T0 was the most diverse compared to the other treatments. In turn, T3 and T4 had less diversity. Finally concluding that there is a negative effect of glyphosate doses on biocenosis.

Keywords: Soils, properties, macrofauna, glyphosate herbicide.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, debido al daño ecológico y económico causado por el uso indiscriminado de glifosato, se ha cuestionado el manejo de las malezas. Dado que el control mecánico no es posible en los sistemas agrícolas, el uso de control químico generalmente aumenta. Los herbicidas pueden cambiar la composición de las especies de malezas.

El glifosato en la actualidad se ha convertido en el principal controlador químico de malezas, generando una disminución del laboreo de especies forrajeras. No obstante, hay que prestar mucha atención a los efectos que pueden ocasionar a largo plazo en el suelo y en los organismos que conforman este recurso. Debido a que el glifosato tiene la capacidad de transportarse desde los tejidos de las plantas al suelo, se puede movilizar mediante la competencia con el fósforo, que puede representar un cambio en las propiedades químicas y se verá fuertemente afectado por las propiedades del suelo (como el potencial para fijar fósforo, el contenido efectivo del hierro), pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de arena y materia orgánica del suelo (WILLIAMS *et al.*, 2000).

Es por ello que muchos estudios han estado enfocados a demostrar el impacto del glifosato sobre bacterias que participan en el ciclo del nitrógeno y organismo acuáticos. Sin embargo, resulta escasa la información acerca de los efectos perjudiciales que podría ocasionar la exposición directa del glifosato sobre las propiedades químicas asociadas con malezas, que crece en las cercanías donde se refugian y alimentan las especies que conforman la macrofauna del suelo. Como se mencionó anteriormente, se plantea como problema de investigación lo siguiente: ¿La aplicación del herbicida a suelos con *Pteridium aquilinum* “macorilla”, afecta las propiedades químicas y macrofauna? Se estableció como hipótesis de investigación para encontrar una respuesta a la interrogante planteada:

Ho: la aplicación del herbicida glifosato no afecta significativamente las propiedades químicas y macro fauna del suelo con *Pteridium aquilinum* “macorilla”.

Ha: la aplicación del herbicida glifosato tiene un impacto significativo en las propiedades químicas y macrofauna del suelo con *Pteridium aquilinum* “macorilla”.

Para demostrar la hipótesis, se establecieron los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo general

Determinar el impacto de la aplicación del glifosato (Erraser 757) en *Pteridium aquilinum* “macorilla” sobre las propiedades químicas y la macrofauna del suelo en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar el impacto del glifosato en las propiedades químicas de los suelos con "macorilla" de *Pteridium aquilinum* (pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico).
- Determinar la macrofauna del suelo a través de la cantidad y abundancia de individuos por nivel de orden.
- - Determinar la riqueza o diversidad de especies de la macrofauna del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El suelo

Uno de los recursos de vida más cruciales en la Tierra es el suelo; debido a que es la base básica del desarrollo agrícola y forestal. La producción mundial de alimentos depende enormemente del uso del suelo (Martin y Adad, 2006).

2.1.1. Propiedades químicas del suelo

2.1.1.1. Materia orgánica

Está compuesto por desechos biológicos, vegetales y animales secos. Es la parte del suelo más químicamente activa, almacena algunos elementos básicos, lo que provoca la estructura del suelo, además es la fuente que produce la capacidad de intercambio catiónico (CIC), gradúa los cambios de pH y promueve la conveniente relación entre el aire y el agua en el suelo (Bohn *et al.*, 1993).

El clima y la vegetación afectan principalmente el contenido de materia orgánica del suelo lo cual varía mucho. Depende localmente de la topografía, el material parental que produce el suelo y el sistema de gestión. No obstante, las bajas temperaturas y las altas altitudes retrasan la desintegración de la materia orgánica, por lo que aumenta la concentración debido a la falta de mineralización y humificación, las temperaturas entre 25 y 28 °C y altitudes más bajas aceleran la desintegración de los desechos vegetales (Zavaleta, 1992).

Mejora las características físicas, incrementa la infiltración del agua, favorece la fragilidad del suelo, reduce la pérdida por erosión y proporciona sustancias nutritivas a las plantas. En gran medida los beneficios se dan gracias a la liberación de sustancias provenientes de la descomposición de desechos orgánicos en el suelo (Inpofos, 1988).

Tabla 1. Rango de materia orgánica en el suelo.

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	menos de 2
Medio	2 – 4
Alto o rico	mayor de 4

Fuente: Jackson, 1982.

2.1.1.2. pH del suelo

El potencial de hidrogeno (pH) del suelo es una proporción de la acción de las partículas de H^+ en la disposición del suelo. Las partículas dinámicas de H^+ incorporan todas las fuentes, por ejemplo, separación de solventes corrosivos y separación de moléculas de suelo (Alvarado, 2007).

Tabla 2. Niveles de pH del suelo.

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4.5
Fuertemente ácido	4.5 - 5.5
Moderadamente ácido	5.5 - 6.5
Neutro	6.5 - 7.5
Moderadamente alcalino	7.5 - 8.5
Fuertemente Alcalino	Mayor de 8.5

Fuente: Usda, 1998.

Los valores de pH de los suelos en áreas húmedas suelen estar entre un poco menos de 5 (fuertemente ácido) y un poco más de 7 (moderadamente alcalino). En las zonas áridas, van desde un poco menos de 7 (neutro) a 9 (alcalino fuerte). Los suelos en áreas de alta precipitación tienen acidez; lo cual está sometido a continuos e intensos lavados, por lo que el agua disolverá los álcalis solubles que pueden penetrar y perderse por lixiviación. El lavado continuo conlleva un aumento de la acidez, al mismo tiempo debido a la segregación de raíces y la influencia de compuestos ácidos producidos por la desintegración de materia orgánica. Dichas condiciones conducen a la inmovilización de una gran cantidad de H^+ por el

complejo coloidal en el suelo, y porque este hidrógeno tiende a alcanzar el equilibrio con la disolución del suelo cuando se disocia (Navarro y Navarro, 2003).

2.1.1.3. El Nitrógeno

La materia orgánica del suelo que se deposita cuando mueren los microorganismos y las plantas, por lo que contiene la mayor parte del nitrógeno del suelo. De este modo, el nitrógeno no puede ser utilizado por las plantas. La disposición de nitrógeno en la solución del suelo cambia más en comparación a otros elementos cruciales para el desarrollo de las plantas. El amoníaco es adsorbido por la superficie de la arcilla y por el humus, sin embargo, se lixivía fácilmente en forma de nitrato. El nitrógeno sirve como alimento microbiano y ayuda en la desintegración del material orgánico (Zavaleta, 1992).

Tabla 3. Niveles de contenido de Nitrógeno.

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	Menor de 0.1
Medio	0.1-0.2
Alto	Mayor de 0.2

Fuente: Jackson, 1982.

2.1.1.4. El fósforo

Si el pH del suelo es mayor a 7.5, el fosfato de calcio gradualmente se convertirá en tricálcico (apatita) Estos fosfatos insolubles aumentarán con el aumento del pH, por lo que la fuente de fósforo absorbible es muy inestable y disminuirá a fósforo orgánico (Cobertera, 1993 citado por Hosokay, 2005). En términos prácticos, el contenido total de fósforo en el suelo no llega a ser significativo, sin embargo, se utiliza con frecuencia como un índice de meteorización. A medida que aumenta la intensidad de la meteorización, disminuye el fósforo total en la capa cultivable. El fósforo es diferente del nitrógeno. El nitrógeno puede incorporarse al suelo mediante la fijación bioquímica de microorganismos. El fósforo solo proviene de la descomposición del lecho rocoso durante el proceso de meteorización, lo que representa aproximadamente el 0,1% de la corteza terrestre (Navarro y Navarro, 2003).

Tabla 4. Niveles de contenido de fósforo.

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy Bajo	menos de 5
Bajo	5.1 – 15
Normal	15. 1- 30
Alto	30.1 – 40

Fuente: Jackson, 1982.

2.1.1.5. El potasio

El contenido de K_2O está entre 0,5% y 3% y el contenido de arcilla es alto dependiendo de la textura, por lo que los suelos arcillosos y limosos (más abundantes que los suelos arcillosos que los suelos limosos y arenosos). El potasio y otros metales se intercambian fácilmente, especialmente metales alcalinos y metales alcalinotérreos (Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++}), en los tejidos vegetales, así como en la capa del suelo que contiene raíces (Llanos, 1984). Entre pH 6 y 7.5, la disponibilidad de potasio es buena. En un medio alcalino, la disponibilidad disminuye y aumenta sobre un pH de 8.5. (Donahue, 1989).

Tabla 5. Niveles de contenido de potasio

Nivel	Potasio (kg/ha)
Muy Bajo	menos de 300
Bajo	300-600
Normal	más de 600

Fuente: Jackson, 1982.

2.1.1.6. Capacidad de intercambio catiónico

Se conoce como capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo a la suma total de cargas negativas accesibles fuera de las partículas de la solución del suelo, principalmente tierra y materia natural. Dichos límites representan el nivel de fertilidad del suelo. (Cobertera, 1993 citado por Hosokay, 2005). Los iones más cruciales con el desarrollo de las plantas es el Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , NH^4 , Na^+ e H^+ . Los suplementos son los cuatro primeros, que se relacionan directamente con el desarrollo de las plantas. En el caso de los

suelos ácidos, gran parte de los cationes son hidrógeno y varios tipos de aluminio (Donahue, 1989).

Tabla 6. Niveles del contenido del CIC.

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Muy Bajo	menos de 12
Bajo	12-20
Normal	Mayor de 20

Fuente: Jackson, 1982.

2.2. Glifosato

El glifosato es un ingrediente activo en muchos herbicidas y es un herbicida no selectivo que puede afectar a una amplia gama de hojas verdes. Se forma por la acción de los radicales de glicina y aminofosfato, que están conectados como sustituyente de uno de los átomos de hidrógeno de amino. Es comúnmente utilizado para controlar plantas perennes, aunque generalmente puede ser bastante peligroso para cualquier tipo de cultivo (Araujo *et al.*, 2003).

En 1974, apareció en el mercado bajo el nombre de "Roundup" en los Estados Unidos, y en la actualidad está disponible bajo una variedad de marcas en todo el mundo. Es muy utilizado porque afecta directamente las enzimas del crecimiento de las plantas, lo que lo hace muy popular porque ayuda a controlar la reproducción de los cultivos y controlar la maleza presente. (Cabrera, 2003). Entre los microorganismos, la aplicación de herbicidas ha afectado gravemente a la población. Sin embargo, en el caso del glifosato, pueden tener un impacto positivo en las comunidades microbianas (especialmente bacterias) porque pueden utilizarlo como fuente de carbono.

2.2.1. Mecanismo del glifosato en los suelos y planta

El glifosato actúa limitando la 5-enolpiruvato-shiquimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), que es responsable de la disposición de los aromáticos aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano (Williams *et al.*, 2000). Los grupos de ácidos N fosfometilglicina se le llama inhibidor de EPSPS, que es una especie de herbicida no selectivo,

que puede moverse a través del floema y evitar la síntesis de lignina y proteína (Pérez y Josino, 2007).

Por otro lado, la degradación del glifosato es causada principalmente por la población de *Pseudomonas sp*, a través de vías microbianas, lo que origina el principal metabolito del ácido aminometilfosfónico (AMPA). Aunque el fenómeno de la degradación del suelo puede ser de gran importancia, su fuerte capacidad de adsorción de coloides como el hierro y la alúmina puede inducir a que los compuestos orgánicos estén protegidos de la degradación microbiana. Es el proceso de adsorción-desorción el que finalmente controla el contenido de glifosato en el suelo (Gimsing et al. 2004; Scow y Hutson, 1992; Eberbach, 1998; citados por Calderón *et al.*, 2005).

2.2.2. Glifosato inactivado

Como muchos herbicidas, son principios eficaces y se inactivan al entrar en contacto con el Ca y/o Mg presentes en el suelo y el agua, por lo que no afecta a la vegetación. Sin embargo este producto inactivado destruye el crecimiento de las plantas. Cuando el suelo penetra en el suelo bajo la acción del agua, contaminará la superficie del agua del suelo y contaminará el nivel del agua subterránea. A través de esta capacidad de inactivación se pueden lograr efectos adversos sobre el medio ambiente, pero es muy beneficioso para la empresa que produce este fármaco; el motivo de este efecto es que cuando el producto se mezcla con agua (el contenido de calcio y magnesio es diferente, dependiendo de la región) Al entrar en contacto, disminuye su efectividad de erradicar las malezas (entre 5% y 10%) y puede repararse con una tasa de reparación más alta. Usa el producto en la misma dosis (Williams *et al.*, 2000).

2.2.3. Malezas con tolerancia a glifosato

Un gran número de las variedades de malezas en el campo de la aplicación de glifosato no se deben a la oposición. De hecho, estos agujeros se pueden atribuir con bastante frecuencia a malezas particulares que son innatamente resistentes a los herbicidas, es decir, especies que suelen tolerar cantidades comerciales de glifosato. Es fundamental que las partes comerciales utilizadas sean menos atractivas para dichas variedades comunes de "mente abierta", y se nota generalmente una alta inconstancia en los resultados a la luz del hecho que dependen en gran medida de las malezas, las condiciones naturales, desarrollo posterior y calidad del desarrollo (World Health, 1994).

2.2.4. Factores que pueden conducir a una menor performance del glifosato

- Dosificación inadecuada al momento de controlar el tipo o alturas de las malas hierbas.
- Llueve después de su uso y no se puede absorber por completo.
- Disminuir la eficacia del glifosato en situaciones de baja intensidad de luz solar (aplicaciones durante días nublados o noche).
- Uso fórmula de baja calidad y / o agua de baja calidad (dureza del calcio catiónico y del magnesio) (World Health, 1994).

2.2.5. Comportamiento del glifosato en los suelos

Los glifosatos son herbicidas que tiene una amplia gama de efectos y no selectivo, utilizado después de la germinación y principalmente para el control de la vegetación en áreas agrícolas y no agrícolas, por lo que puede explicar el motivo del aumento de temperatura del suelo (Calderón *et al.*, 2005).

En esta línea, la vegetación se sucia después de la aplicación y la temperatura aumentara como resultado de los rayos del sol golpeen directamente a la superficie provocando una expansión de temperatura. Expandir la temperatura del suelo resulta beneficiosa para los microorganismos, porque la temperatura metabólica de los microorganismos aumenta 2,5 veces cada 10 grados hasta que se alcanza el valor máximo de tolerancia, porque los grados extra pueden significar una inhibición completa de su crecimiento (Alexander, 1998).

Numerosos autores aún no han llegado a un acuerdo sobre el trabajo de otras partes del suelo (por ejemplo, la materia natural y la tierra) (Miles y Moye 1988; Spann y Phillip 1994; Piccolo y Celano, 1994; citados por Calderón *et al.* 2005) en el proceso de sujeción, que es muy importante para la absorción de la mayoría de los pesticidas en el suelo, el ácido fosfórico puede adsorberse en arcilla, materiales orgánicos, óxidos metálicos y ciertos componentes del humus al mediar la adsorción de partículas fijadas en el suelo. Para sitios de unión con fosfato orgánico.

Los datos de (Collins y Helling, 2002), en cuanto a la "diseminación natural" de glifosato y varios herbicidas en suelos de sembríos ilícitos que han sido dosificados tentativamente en territorios específicos de Panamá y Perú, sus porciones son muy superiores a las necesarias para el control de malezas típico. En las pruebas de suelo 1,5 y 3 meses después del tratamiento del cultivo de coca, no se identificaron depósitos del elemento parental o su principal metabolito corrosivo aminometilfosfónico (AMPA). Además, esto implica que cuando se dan escenarios favorables de pH elevado y una gran cantidad de fosfato no natural todo el tiempo, la portabilidad del glifosato en la suciedad puede disminuir.

Calderón *et al.* (2005), reportó un comportamiento similar, realizó estudios de persistencia en campo y observó que los residuos de glifosato solo aparecieron en marzo de 2003, mientras que los residuos de 2004 aparecieron en los meses de abril y mayo. En ambas situaciones, luego de la aplicación del herbicida. Como se mencionó anteriormente, la baja persistencia del glifosato puede deberse a una fuerte absorción en los coloides del suelo. Después de aplicar el 8% del residuo de maíz al suelo, encontraron que la mineralización y la adsorción de glifosato se reducen significativamente, lo que indica que incluso en estas condiciones, la persistencia y retención en el suelo es baja. Según la información de varios autores, considerando la vida media (los días necesarios para que el producto aplicado se metabolice o extinga a la mitad varía de 3 a 141 días), aseguran que el efecto bactericida habitual dure muy poco tiempo. Suelos tropicales, debido a que la molécula es susceptible a los microorganismos del suelo, es fácil de degradar rápidamente y puede dividirse y producir componentes como dióxido de carbono, agua, cierto contenido de nitrógeno y cierto fosfato.

La conducta del suelo está influenciada por la interacción de adsorción. Específicamente, los coloides del suelo tienen adsorción sólida y los óxidos de hierro y aluminio se identifican firmemente con el pH. Además, esta adsorción es irreversible, por lo que protege al herbicida de una posible corrupción. A pesar del hecho de que tiene una alta capacidad de disolución y poco ingenio, en realidad se convierte en una baja portabilidad en la tierra debido al hecho de que no se descubrieron acumulaciones un mes después de la utilización del herbicida. (Calderón *et al.*, 2005).

El aumento de material orgánico es resultado del efecto del glifosato sobre las hortalizas de la zona, y este efecto se inicia desde las raíces (Calderón *et al.*, 2005). El Programa de plaguicidas de la EPA ha definido que, aunque el metabolito ácido aminoaminometilfosfónico (AMPA), que no se origina en los tejidos vegetales, no necesita

ajuste, se recomienda excluirlo del ajuste de tolerancia. Casi no hay corrupción metabólica del glifosato en las plantas. Como lo indicó la revisión, se descubrió que después de tres meses de la utilización del herbicida, el 98% de la planta se mantuvo inalterada debido a que dos meses después del hecho el territorio de investigación demostró una pausada recuperación del glifosato (Who, 2000).

Alexander (1998) planteó que el material natural generará CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , y son suplementos para el desarrollo de plantas y microorganismos, sin perjuicio de ampliar el límite de comercio catiónico de la suciedad. Entre el 20% y el 70% de la CIC en numerosas suciedades es provocada por materia natural, sobre la base de que la acción del glifosato se inactiva o se elimina, conducta que puede aclararse por las características físicas y sintéticas del herbicida. (Edson *et al.*, 2007) plantearon que la utilización de plaguicidas afecta verdaderamente a los microorganismos del suelo, como lo indican los informes, los impactos de los herbicidas sobre los microorganismos del suelo son breves, particularmente identificados con la biomasa microbiana del suelo; mostrando que el aliento microbiano está disminuido.

Torstensson (1985), indica que, durante el estudio anaeróbico del suelo forestal, este valor se basa de acuerdo con la cantidad de dióxido de carbono liberado entre 6 y 200 días. La tasa de respiración del suelo está relacionada con la mineralización, sin embargo, no guarda relación con el pH o el contenido orgánico.

Fernández (2007), descubrió que después de 20 días de aplicación de herbicidas, el suelo tratado con glifosato liberaba un 18% más de dióxido de carbono en el aliento que el suelo de control. En vista de los efectos secundarios del aliento microbiano acumulado, se tiende a interpretar que la mineralización de carbono en el control y el glifosato tiene un ejemplo comparable durante todo el examen. La degradación microbiana del herbicida podría deberse al catabolismo en oposición a los ciclos metabólicos.

2.2.6. Importancia del pH en la degradación de los herbicidas

El potencial de hidrógeno es muy posiblemente el principal factor natural para controlar el movimiento y organización de la vegetación. Los hongos tienen un amplio alcance, desde sólidos corrosivos ($\text{pH} = 2$) hasta moderadamente básicos ($\text{pH} = 9$). Un pH ácido se considera el mejor para el desarrollo. Este es el resultado de la contención de diferentes microorganismos. En el momento en que el pH de la suciedad supera el límite de pH, la respuesta de desintegración de la sustancia se detiene. 6,8 (Toro, 2005).

Los herbicidas son átomos con carga eléctrica, por lo que cuando se almacenan en la tierra son arrastrados por las micelas o coloides presentes en la tierra, tratados por la materia natural y la tierra (Toro, 2005). Posteriormente, suelos con alto contenido de materia natural y tierra pueden influir en la acción de los herbicidas, influyendo en su productividad y tenacidad. Cuando el pH del suelo es bajo, aumentará la actividad y degradación del herbicida. Por otro lado, cuando aumenta el contenido orgánico, la capacidad de adsorción del herbicida es mayor. El comportamiento puede alterarse dependiendo de las propiedades edáficas aplicadas, muchos autores parecen estar de acuerdo en que el hierro y la alúmina juegan un papel importante, así como el pH del suelo durante la adsorción (Jonge, 1999; Jonge et al. 2001; Gimsing et al. 2004; citados por Calderón *et al.*, 2005).

Al respecto (Cabrera, 2003) indica que para el herbicida (glifosato) después de la emergencia, el valor de pH de la superficie del suelo es mayor (Calderón, 2005), lo que indica que, en suelos tropicales, las moléculas de glifosato son fácilmente degradables, tiene la velocidad y capacidad de fraccionamiento, y produce componentes como dióxido de carbono y agua, cierto contenido de nitrógeno y algo de fosfato. Calderón *et al.* (2005), muestra su acción en el suelo se ve afectado por el proceso de adsorción; específicamente, tiene una fuerte fuerza de adsorción sobre los coloides de la solución del suelo, entre los que destacan el hierro y la alúmina, los cuales están estrechamente relacionados con el pH.

2.3. Plantas indicadoras de suelos ácidos

Existen algunas especies que son indicadores de acidez y de desarrollan en un suelo con alta saturación de aluminio trivalente y con una reducida concentración de fósforo como: Macorilla (*Pteridium aquilinum*); rabo de zorro (*Andropogon bicornis*); Cashaucsha o Chicula (*Imperata brasiliensis*) (Huamani, 1998; Mansilla, 1998 y Zavala *et al.*, 1998).

2.3.1. Helecho o macorilla (Pteridophyta)

Son plantas cormófitas o superiores que necesitan semillas y se replican por dispersión de esporas, la dispersión de estas esporas provoca cambio generacional, su multiplicación se completa por esporas y rizomas que se esparcen uniformemente en la tierra. Se rellenan principalmente en suelos ácidos. Sus cimientos subyacentes mejoran el diseño de la suciedad y tienen rizomas (Zavala, 1985; Fassbender y Bornemisza, 1985).

2.4. Organismos del suelo

Si bien la tierra puede contener componentes vitales para la vegetación, su accesibilidad puede ser baja. Por otra parte, en las micropoblaciones del suelo, algunos microorganismos extraordinarios dirigen el ciclo natural en miniatura a través del filtrado microbiano de sustancias solubles en minerales insolubles y la obsesión armoniosa del nitrógeno (Coyne, 2000). Estos microorganismos utilizan como fuente de energía y carbohidratos la materia orgánica que reúnan ciertas características: no deben degradarse demasiado, ya que esto conducirá a procesos anaeróbicos. No es demasiado difícil de degradar, porque conducirá al reciclaje de elementos importantes.

2.5. Distribución de la biomasa en el suelo

Tabla 7. 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.

2.6. Antecedentes de investigación

(Ramos, 2016) realizó la investigación del impacto del glifosato sobre las propiedades del suelo de una plantación forestal de *Cedrela lilloi* C.DC, en la localidad de Daniel Alomía Robles en el distrito de Huánuco. Las porciones de glifosato aplicadas fueron de 1.0 y 1.5 kg/ha, y se contrastaron y suelo con y sin cultivo para evaluar sus cualidades físicas, compuestas y orgánicas. Los resultados demostraron que el glifosato expandió el nivel de basura a 9.3 cm, expandió el humus a 1.15 cm y expandió la sustancia de la suciedad en un 14.05%, en contraste con un 8.54% en el grupo de referencia. Se obtuvo una mayor estimación de fósforo (8.88 ppm) en el suelo con glifosato, y en cuanto a otros marcadores físicos y sintéticos, no hubo un gran contraste entre los dos medicamentos.

Las estimaciones de ANVA de gusanos, hormigas y termitas no fueron críticas, sino que las estimaciones del tratamiento con glifosato disminuyeron fundamentalmente (-20, -378, -178 ind/m², por separado). La relación entre el glifosato y la temperatura del suelo (0,821), la penetración (0,620), el nivel de basura (0,967) y el nivel de humus (0,954) fue considerable, el nivel de glifosato y fósforo (0,750), potasio (0,643) y sodio (0,827). En cuanto a los atributos orgánicos, la conexión entre el glifosato y las transformaciones del gusano es enorme (- 0,596). Las propiedades orgánicas de la suciedad son más sensibles a los impactos del glifosato, mientras que las propiedades físicas y compuestas deben evaluarse durante un período de tiempo más prolongado (Ramos, 2016).

La presencia de glifosato en la tierra puede provocar cambios en la población de tierra y en la acción microbiana de la tierra, como lo demuestran diversas investigaciones que evalúan los impactos destructivos de los herbicidas sobre diversos microorganismos (Araujo *et al.*, 2003).

En el primer estudio de grandes animales acuáticos en Cuba, podemos señalar que se realizó en el ecosistema forestal de la Sierra del Rosario. Los resultados de Prieto (2003) muestran que el número de órdenes de animales de gran tamaño es muy abundante, entre los que se encuentran principalmente Hymenoptera (Formicidae), Coleoptera y Haplod. Posteriormente, la mayoría de los exámenes biológicos se centraron en reuniones explícitas de criaturas enormes, fundamentalmente terrestres y bípedos, y el efecto de entornos característicos y/o perturbadores en estas redes. Los estudios han demostrado que en ecosistemas con bajos niveles de actividad humana, la diversidad y riqueza de estos grupos es significativamente mayor.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente estudio de investigación se realizó en la comunidad de La Soledad, cuyas coordenadas UTM WGS84 son: (E: 390761, N: 8993347), pertenecientes al distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. A la altura del kilómetro 28 y medio desde Tingo María, con dirección a la ciudad de Aucayacu.

3.1.1. Características edafológicas

Las propiedades edáficas de la zona señalan que se trata de suelos aluviales, idóneos para el cultivo de especies temporales como el arroz, el plátano, árboles frutales, pastos, plantas perennes y bosques. Y especies nativas, debido a que su contenido orgánico es tan alto como 25%, la tasa de intercambio catiónico es 11.5% y la distribución promedio de NPK es 8-10-12. El pH del suelo es 6.0 y el intercambio catiónico es aceptable, que es bueno para el crecimiento normal de cultivos perennes.

3.1.2. Zonas de vida

(Holdrige, 1993) citado por (Mapa Ecológico del Perú – Inrena, 1995) indica que la zona de estudio pertenece a un Bosque Húmedo tropical. Este ecosistema se caracterizaba por tener una temperatura media anual de 27°C y una precipitación anual que supera los 1500 mm, además de situarse a una altitud de 645 msnm.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

3.2.1.1. De campo

Libreta de notas, tableros indicadores, bolsas de polietileno de 1 y 2 kg, glifosato, palana, marco de madera 25x25, machete, martillo, navajas, rafia, estacas,

mochila fumigadora, pinzas, frasco de plásticos, wincha de 50m, máquina de fotos, sistema de navegación satelital (GPS).

3.2.1.2. De laboratorio

Matraz de Erlenmeyer, vaso de precipitación, probeta graduada, varilla, tamiz, balanza de precisión y estufa, agua destilada, dicromato de potasio, ácido sulfúrico, difenilamina sulfúrica, sal de Mohr y cloruro de potasio, formol al 4% y alcohol a 70%.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Reconocimiento del área experimental

En el mes de mayo del 2019, se realizó el reconocimiento del lugar de investigación donde se realizaron labores de mantenimiento con el uso de machetes y palas.

3.2.2.2. Delimitación e instalación del área experimental

Durante la segunda etapa, en junio de 2019, se instalaron las parcelas experimentales según el diseño previamente establecido. Se delimitó un área de 152 m², subdividida en subparcelas de 6 m² para cada tratamiento, asegurando que todas tuvieran características homogéneas y creando así condiciones similares entre los tratamientos.

Para ello, se utilizó de una wincha de 50 metros de longitud, que sirvió para definir la medida de cada parcela; también se utilizó estacas en cada vértice y se delimitó haciendo uso de una rafia alrededor del área experimental.

3.2.2.3. Datos del área experimental

Largo	:	19m
Ancho	:	8m
Área total	:	152 m ²

Ancho de calles entre bloques : 1 m

Número de parcelas por bloque : 5

Largo de cada parcela : 3 m

Ancho de cada parcela : 2 m

Área de cada parcela : 6 m²

3.2.2.4. Diseño del área experimental

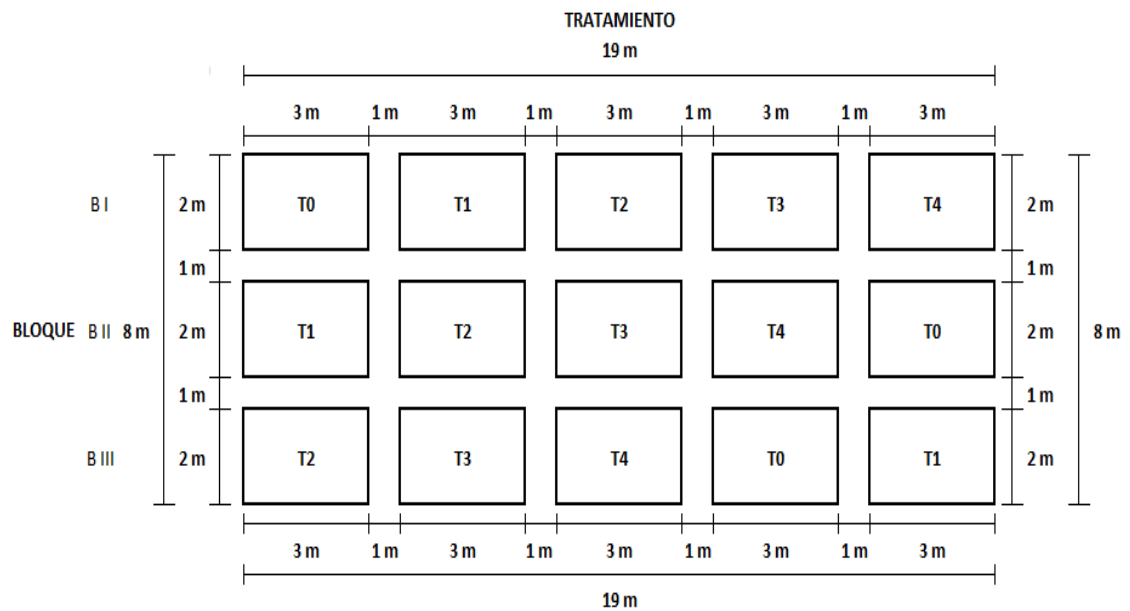


Figura 1. Diseño del área experimental.

3.2.2.5. Recolección de muestras del suelo al iniciar la investigación

La tercera etapa consistió en la toma de muestras iniciales de suelo en el mes de junio del 2019. La recolección de muestras se realizó empleando el patrón de muestreo aleatorio, que es uno de los patrones más empleados en los métodos estadísticos.

Los puntos de muestreo se eligieron al azar, y se tomaron un total de 5 a 10 muestras de suelo a una profundidad de 20 cm x 20 cm de ancho.

Dichas muestras fueron secadas y tamizadas, 15 días después de haber sido extraídas, para posteriormente ser llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelo.

3.2.2.6. Aplicación del herbicida glifosato Erraser 757

Durante la cuarta etapa se realizó la aplicación del herbicida glifosato en el mes de julio a diferentes dosis. En el mes de agosto del 2019 se realizaron las evaluaciones correspondientes. Finalmente, se procedió a procesar los datos obtenidos.

3.2.2.7. Dosis empleadas por tratamiento

Se consideraron 4 tratamientos más 1 testigo y 3 repeticiones por cada tratamiento empleados. Las dosis estuvieron sujetas a concentraciones crecientes del herbicida glifosato.

Tabla 8. Dosis del herbicida Erraser 757 por cada tratamiento.

Tratamiento	Dosis
T ₁	150 ml
T ₂	200 ml
T ₃	250 ml
T ₄	300 ml
T ₀	0 ml

Fuente: Williams *et al.* (2000).

3.2.2.8. Muestreo de macrofauna

Se empleó el método recomendado por el Programa de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993, citado por Pashanasi, 2001), para determinar la macrofauna del suelo. Este procedimiento establece que la superficie de la unidad básica de muestreo debe tener las siguientes dimensiones (25 x 25 x 30 cm de profundidad), en todo el trayecto seleccionado de forma aleatoria dentro del sistema.

Se tomaron 3 muestras para cada tratamiento. Por lo tanto, se recolectaron un total de 15 muestras. Cada muestra representaba un conjunto completo y se evaluaron los individuos presentes. Los individuos de más de 2 mm se consideraron como macrofauna. Aquellos individuos que superaban los 2 mm fueron clasificados como macrofauna. La macrofauna recolectada en por unidad de muestra fue almacenada en botellas con alcohol al 70%, por su parte los gusanos fueron conservados en botellas con formaldehído al 4%. Después, en el laboratorio, se contabilizó, pesó e identificó para cumplir con los criterios de clasificación taxonómica.

3.2.2.9. Estimación de la densidad

Para determinar esta variable se utiliza el método de conteo directo. Suponiendo que para cada muestra se utiliza un cuadrado con una longitud de lado de 25 cm (que representa 1/16 de metro cuadrado), la información recopilada por cada toma de muestra se multiplica por una constante de 16 con la finalidad de obtener la unidad del número de individuos por metro cuadrado (ind. /m²) (Correia y Oliveira, 2000).

3.2.2.10. Estimación de la biomasa

La estimación de la biomasa se llevó a cabo utilizando el método directo de recuento. Para ello, se calculó el peso fresco de los individuos con una balanza analítica en los distintos tratamientos. Las unidades se expresaron en gramos de peso fresco por metro cuadrado (g/m²), en primer lugar, por estrato y después se realizó la suma con la finalidad de establecer biomasa total en cada tratamiento.

3.2.2.11. Diversidad de especies

Este parámetro mide la riqueza de especies (número de especies) identificadas por tratamiento. Se utilizaron dos indicadores, los cuales con el índice de Shannon-Wiener (H') y el índice de Equidad (J), y se expresan como:

ÍNDICE DE SHANNON-WIENER (H'), de acuerdo con la siguiente formula:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \times \ln \times p_i)$$

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

Dónde:

H' : Índice de Shannon-Wiener que en un contexto ecológico.

S : Número de especies o unidades taxonómicas

n_i : Abundancia de la especie i

N : Número total de individuos

ln : Logaritmo natural

ÍNDICE DE EQUIDAD (J): (Magurran, 1989).

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

Dónde:

H' : Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

S : Número de especies o unidades taxonómicas.

ln : Logaritmo natural.

3.2.2.12. Variables a evaluar.

Variables independientes

- Suelos con *Pteridium aquilinum* “macorilla”

- Dosis del herbicida glifosato

Variables dependientes

- Propiedades químicas del suelo
- Densidad de la macrofauna
- Biomasa de la macrofauna
- Índice de diversidad

3.2.2.13. Determinación de las propiedades químicas del suelo

El cuadro 9, indica los parámetros químicos evaluados durante la investigación y los métodos empleados.

Tabla 9. Métodos empleados para evaluar las propiedades químicas del suelo.

Parámetros químicos	Métodos
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Capacidad de intercambio catiónico	Método del acetato

Fuente: Bazán, 2017.

3.2.2.14. Modelo estadístico

Se utilizó el modelo aditivo lineal en un diseño bloques completamente al azar:

$$Y_{ij} = m + T_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Es la variable respuesta, que corresponde a la unidad experimental que pertenece al j-ésimo bloque donde se aplicó el i-ésimo tratamiento.

m = Efecto de la media poblacional.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

b_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ϵ_{ij} = Efectos aleatorio, Error Experimental

Tabla 10. Esquema del análisis de varianza.

Puente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado
Bloques	(r-1)	$\sum_{j=1}^r \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	SCbloq/gl bloq	$\frac{CM_{bloque}}{CMe}$
Tratamiento	(t-1)	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	SCtrat /gl trat	$\frac{CM_{trat}}{CMe}$
Error experimental	(r-1)(t-1)	SCe	SCee /gl ee	
TOTAL	tr-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		

Todas las características evaluadas en cada tratamiento se probaron mediante análisis de varianza (ANVA) y significación estadística de Duncan, con un nivel de significación de 0,05.

3.2.2.15. Procesamiento de datos

El respectivo análisis estadístico fue realizado a través del paquete estadístico INFOSTAT. Se llevó a cabo el ANVA con un nivel de significación de 5% y se aplicó el comparador de medios de Duncan. Además, se incluyen figuras y gráficos que facilitan la comprensión del comportamiento y las diferencias entre los tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades químicas en suelos con macorilla antes y después del ensayo

Al iniciar el ensayo experimental, conforme al análisis químico de suelos (Ver Anexo 2), los suelos degradados con *Pteridium aquilinum* “macorilla” presentaron valores de pH que fluctúan en el rango extremadamente ácido, posterior al aplicar las diferentes dosis de glifosato se observa un incremento (Ver Anexo 3, promedio muestras M104, M109, M113), cuyos valores significativos se encuentran en el rango fuertemente ácido (T3). Consecuentemente, se observa un incremento de los valores de materia orgánica (1.0%) y nitrógeno mineral (0.03%) en el suelo (T0) siendo estos de niveles bajos a medios en el tratamiento T4 (3.07% para materia orgánica y 0.14% para nitrógeno). Los valores de fósforo y potasio presentaron un incremento posterior al ensayo (T0), de valores muy bajos (5.00 ppm y 226.00 kg/ha respectivamente a niveles bajos (T3 y T4). Posteriormente, la capacidad de intercambio catiónico efectiva presentó un incremento de valores en los tratamientos T2 y T4. Finalmente se observa un efecto significativo de la aplicación del herbicida glifosato en el control de *Pteridium aquilinum* “macorilla” sobre algunas propiedades químicas del suelo (Tabla 11).

Tabla 11. Promedio de indicadores químicos del suelo antes y después del ensayo experimental.

Variable	Tratamientos				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₀
pH	4.65	4.69	5.00	4.91	4.32
M.O (%)	1.13	1.97	2.40	3.07	1.00
N (%)	0.05	0.09	0.11	0.14	0.03
P (ppm)	8.00	7.67	8.67	9.33	5.00
K ₂ O (kg/ha)	275.33	306.00	399.33	364.00	226.00
CICe	6.85	7.63	5.65	7.65	6.85

Los suelos degradados con macorilla presentaron incremento del pH, de extremadamente ácido a fuertemente ácido (T3); materia orgánica y nitrógeno en el suelo (T0) a medios en el tratamiento T4. Los valores de fósforo y potasio de valores muy bajos (T3 Y T4). Posteriormente, la capacidad de intercambio catiónico efectiva presento un incremento de valores en los tratamientos T2 y T3. Observándose un efecto significativo de la aplicación del pesticida glifosato en el control de maleza (macorilla) sobre algunas propiedades químicas del suelo al incrementarse las dosis de glifosato.

Al final del experimento, hubo una diferencia entre los componentes básicos del suelo en la parcela de estudio, la cual fue causada por la gran diferencia entre los promedios de los tenores de indicadores químicos, asimismo, es preciso indicar que para la presente investigación se consideró una sola medición de las propiedades químicas del suelo. (en la etapa final del experimento) al respecto, Calderón *et al.*, 2005 afirmó los indicadores químicos del suelo, dado que los cambios en el sistema requieren una cierta cantidad de tiempo para modificar significativamente este tipo de atributos, se consideran relativamente estables y, por lo tanto, no son adecuados para la medición en poco tiempo.

El aumento de materia orgánica se atribuye al impacto del glifosato en la cobertura vegetal existente en la zona, y este efecto se inicia desde las raíces. Sin embargo, la desintegración de moléculas complejas del glifosato en las plantas es muy pequeña antes de los 90 días posteriores a la aplicación del herbicida, por lo que la recuperación del glifosato es lenta dentro del alcance del estudio de dos meses (Who, 2000).

La materia orgánica produce CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} y es la fuente de nutrientes para el crecimiento de plantas y microorganismos, y aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo; 20% a 70% de la CIC del suelo, siendo corroborado por nuestros resultados, al evidenciarse un incremento de la calidad del suelo a mayor aplicación de glifosato en el suelo, esto causado por la materia orgánica. A causa de que la acción del glifosato se inactiva o se elimina, este comportamiento puede explicarse por las características físicas y químicas del herbicida (Alexander, 1998). Indudablemente los suelos de los tratamientos con menor dosis de glifosato presentan mayores condiciones para albergar mayor diversidad ya que el contenido de nutrientes de manera general es mayor.

4.2. Densidad, biomasa total y abundancia de especie por efecto de diferentes dosis de aplicación de glifosato

4.2.1. Densidad y biomasa total

El análisis de varianza demostró que existen diferencias significativas en cuanto a la densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo entre los distintos tratamientos, siendo el tratamiento T0 quien presentó mayor número de individuos (425 ind/m²) y biomasa total (17 g/m²) en comparación con los tratamientos T4 y T3, quienes mostraron menor número de individuos (157 ind/m² y 254 ind/m² respectivamente) y biomasa total (6.23 g/m² y 10.06 g/m² respectivamente). Los mismos que se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12. Análisis de varianza de la densidad y biomasa total de la macrofauna del suelo después de la aplicación de glifosato.

F. V.	Densidad (ind/m ²)			Biomasa (g/m ²)		
	GL	CM1	Sig ₁	GL	CM1	Sig ₂
Bloques	2	3502.87	0.1530 n.s.	2	0.034	0.4862 n.s
Tratamiento	4	29755.90	0.0003 **	4	0.047	0.0001 **
Error	8	0.041		8	0.041	
Total	14			14		

CV (%): 12.89% (densidad); 13.41% (biomasa); **: = altamente significativo; n.s. = no significativo

Tabla 13. Promedio de individuos (ind/m²) y biomasa (g/m²) entre tratamientos.

Tratamiento	Prom. densidad	Sig ₁	Prom. biomasa	Sig ₂
T0	425	a	17.03	a
T1	339	ab	13.85	b
T2	306	ab	11.89	bc
T3	254	c	10.06	c
T4	157	d	6.23	d

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$), según prueba de Duncan

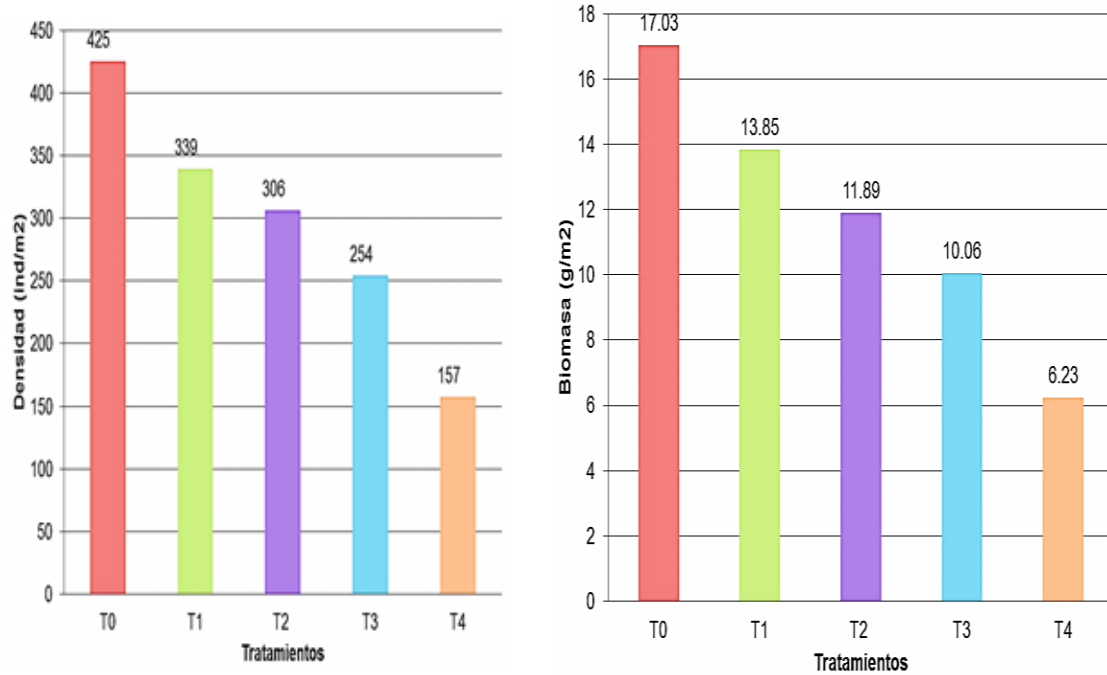


Figura 2. Densidad total (ind/m²) y biomasa total (g/m²) de la macrofauna del suelo entre tratamientos.

La Figura 2, indica diferencias significativas ($p < 0.05$), entre tratamientos, en el que el T4 obtuvo menores valores de densidad y biomasa total de la macrofauna. La densidad y biomasa totales de la macrofauna del suelo por diferentes dosis (Tabla 14), el ANVA demostró diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el tratamiento T0 quien presentó mayor número de individuos (425 ind/m²) y biomasa total (17.03 g/m²) en comparación con los tratamientos T4 y T3, quienes mostraron menor número de individuos (157 ind/m² y 254 ind/m² respectivamente) y biomasa total (6.23 g/m² y 10.06 g/m² respectivamente). Por lo que, se aprecia un efecto negativo del herbicida sobre la macrofauna del suelo, al evidenciarse que a mayor dosis de este (glifosato) sobre el suelo, disminuye la densidad de individuos. Esto debido a que, en la micropoblación del suelo, algunos microorganismos especiales regulan el proceso microecológico a través de la lixiviación biológica de productos solubles en minerales insolubles y la reducción de nitrógeno a amonio (Coyne, 2000). Esto se debe a que requieren materia orgánica como fuente de energía y carbohidratos que reúnan ciertas características: no deben degradarse demasiado, ya que esto conducirá a procesos anaeróbicos. No es demasiado difícil de degradar, porque conducirá al reciclaje de elementos importantes.

Edson et al. (2007), Significa que el uso de herbicidas ha afectado gravemente a la población microbiana, lo que concuerda con nuestros resultados. Sin embargo, especifica que, en el caso del glifosato, pueden tener un efecto positivo en la comunidad microbiana, resultando en un aumento continuo de la biomasa microbiana promedio de la solución del suelo durante el trabajo de investigación.

4.3. Abundancia de individuos por orden

En Tabla 14, se detallan los resultados de abundancia por orden, el T0 indicó mayor abundancia, resaltándose los órdenes Gasterópoda Isópoda, Araneae, Hymenóptera Lepidóptera y Orthoptera, mientras que, para el T1 fue Hymenóptera, Isópoda, Orthoptera, Hemíptera y Coleóptera. Para el T2, los órdenes Orthoptera, Araneae, Hymenóptera y Coleóptera. Para el T3 los órdenes fueron Haploxida, Hymenóptera, Miriapodos, Araneae. Finalmente, para el T4 fue Haploxida, Orthoptera y Araneae.

Tabla 14. Sumatoria de individuos por m² en cada tratamiento.

Ordenes	Número de ind/m ² en cada tratamiento									
	T ₀	%	T ₁	%	T ₂	%	T ₃	%	T ₄	%
Araneae	135	10.57	132	12.97	152	16.52	131	17.17	78	16
Coleóptera	56	4.385	145	14.24	132	14.35	59	7.73		
Gasterópoda	243	19.03			82	8.913	64	8.39	62	13
Miriapodos	84	6.578			4	0.435	143	18.74		
Haploxida	79	6.186	79	7.76	89	9.674	164	21.49	125	26
Hemíptera	57	4.464	154	15.13			16	2.10	78	16
Hymenóptera	132	10.34	165	16.21	154	16.74	154	20.18		
Isópoda	143	11.2	176	17.29	143	15.54			43	9.1
Isóptera	84	6.578	3	0.29						
Lepidóptera	132	10.34								
Orthoptera	132	10.34	164	16.11	164	17.83	32	4.19	87	18
Total	1277	100	1018	100	920	100	763	100	473	100

Al realizar la comparación de la densidad de individuos en cada tratamiento (Figuras 3, 4, 5, 6 y 7) se aprecia que por orden de presencia de órdenes surgen los Gasterópoda, Isópoda, Hymenóptera, Haploaxida. Este último indica mayor presencia en los tratamientos T3 y T4. Sin embargo, de las Figuras en mención, se aprecia un impacto numérico significativo del tamaño de densidad de individuos entre tratamientos al demostrar que, a mayor dosis de glifosato, existe una tendencia negativa por número de individuos respecto a la dosis, reduciendo de 1277 individuos/m² a 473 individuos/m².

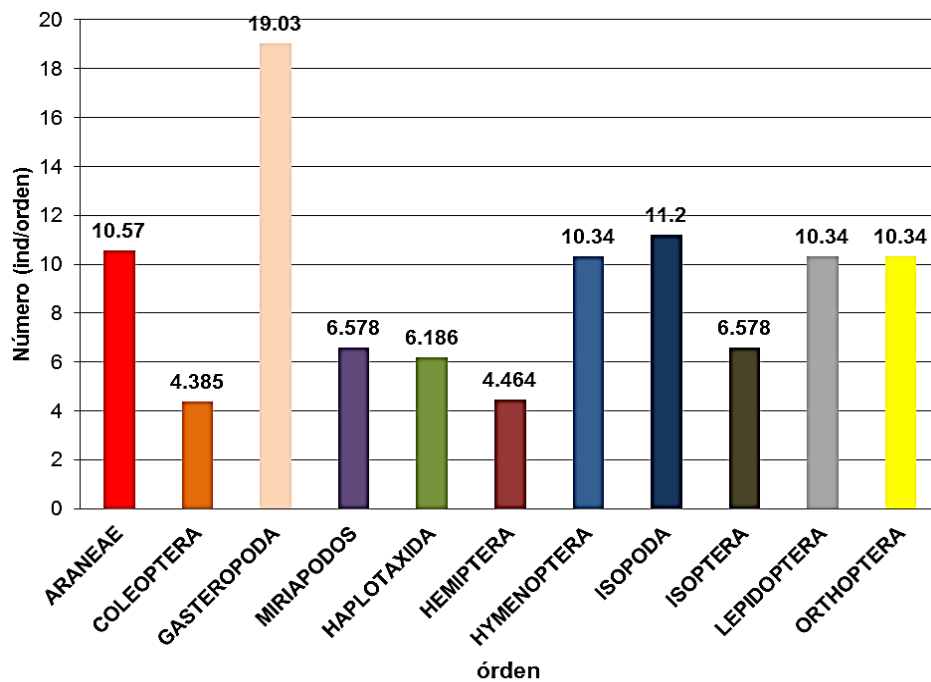


Figura 3. Presencia de órdenes en cuanto a densidad (%) en el T0.

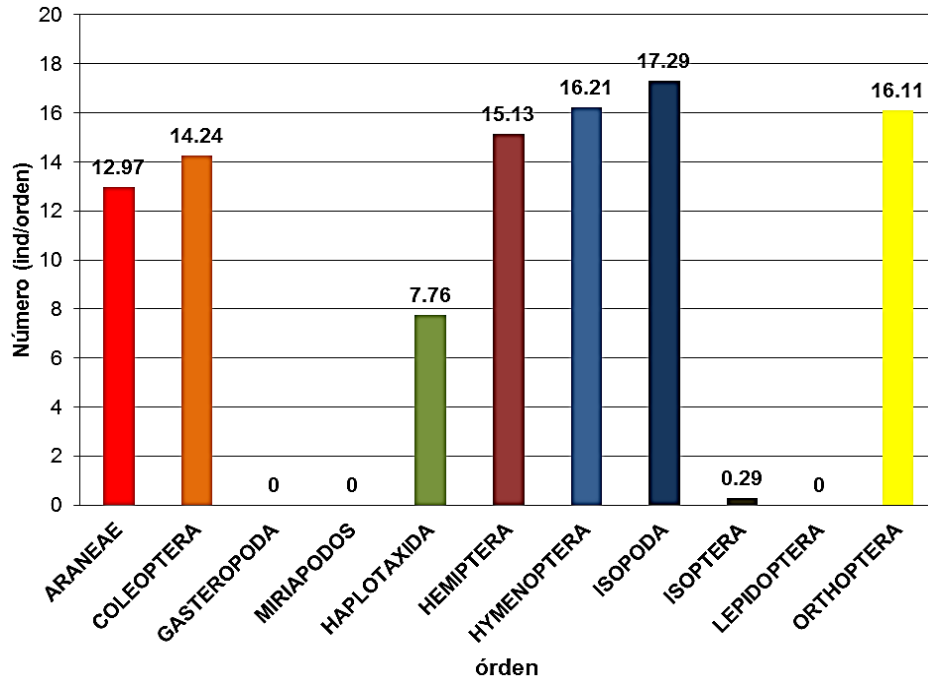


Figura 4. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T1.

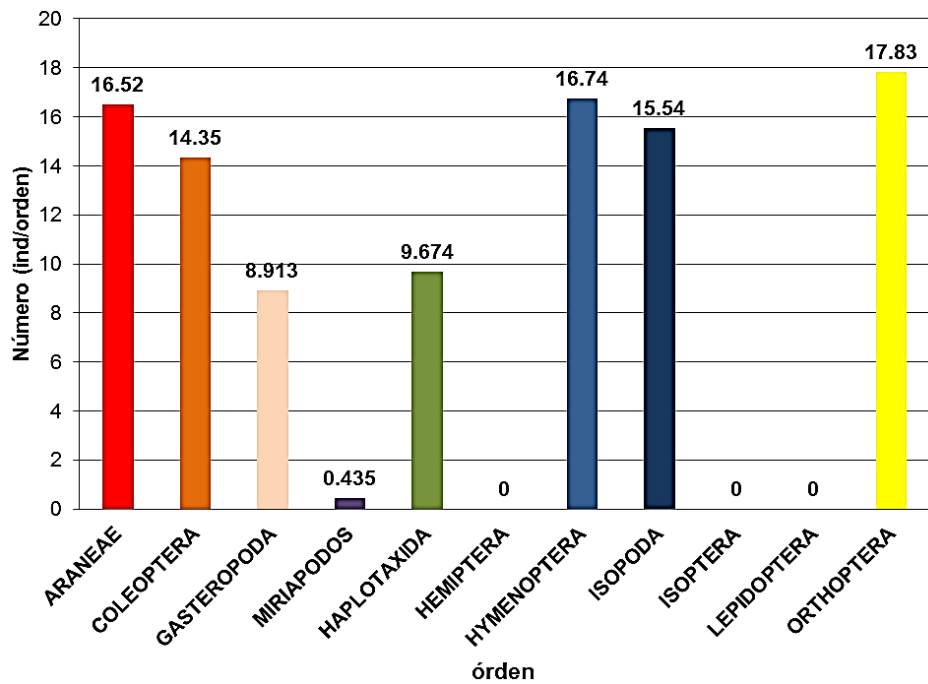


Figura 5. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T2.

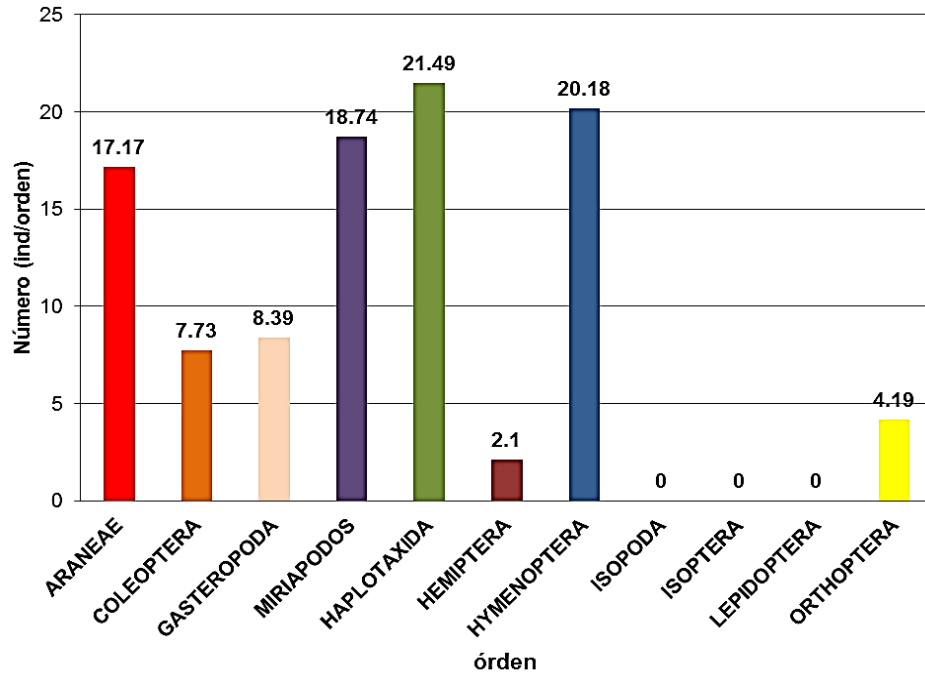


Figura 6. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T3.

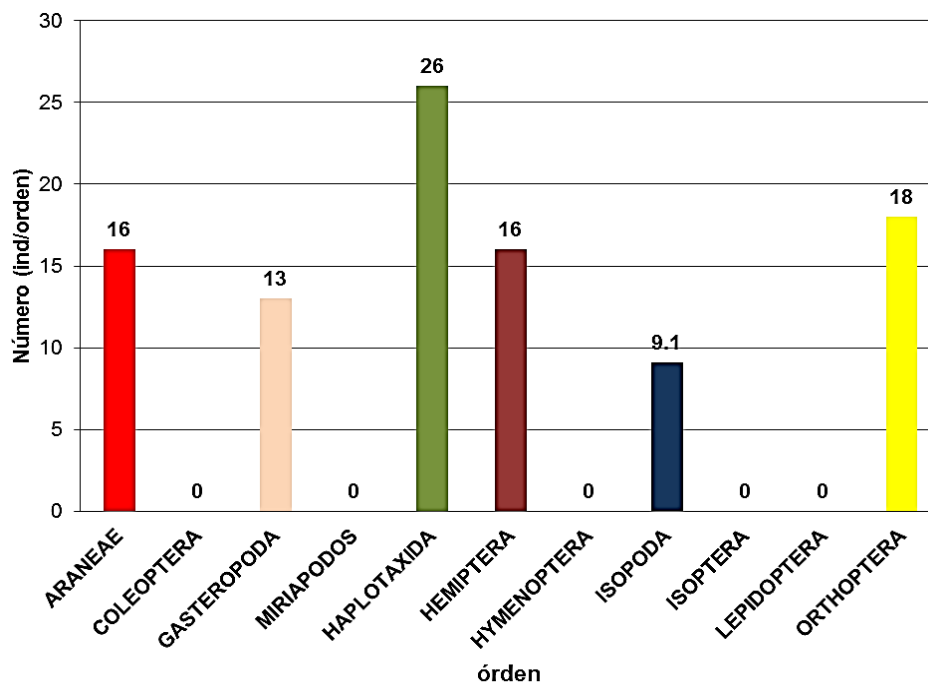


Figura 7. Presencia de ordenes en cuanto a densidad (%) en el T4.

4.4. Diversidad o Riqueza de Especies

Los tratamientos T0 y T1 obtuvieron mayor riqueza específica ($S= 10$ para ambos), suscitando lo contrario en los tratamientos T3 y T4 quienes mostraron menor riqueza específica ($S= 6$ y 4 respectivamente). Para el índice de Shannon-Weaver (H'), el tratamiento T0 obtuvo mayor diversidad frente a los demás tratamientos en estudio con $H'= 1.465$, sin embargo, el que obtuvo menor diversidad fueron los tratamientos T3 y T4 con $H'= 0.758$ y $H'= 0.654$ respectivamente. Observándose el efecto negativo de las dosis de glifosato sobre la calidad biológica del suelo.

Tabla 15. Riqueza específica (S), índice de Shannon – Wiener (H') e índice de equidad (J) de la macrofauna del suelo.

Sistemas	S	H'	J
Tratamiento (T ₀)	10	1.465	0,64
Tratamiento (T ₁)	10	1.214	0,49
Tratamiento (T ₂)	7	0.897	0,46
Tratamiento (T ₃)	6	0.758	0,43
Tratamiento (T ₄)	4	0.654	0.31

El T0 indicó mayor abundancia, resaltándose los órdenes Gasterópoda Isópoda, Araneae, Hymenóptera Lepidóptera y Orthoptera, mientras que, para el T1 fue Hymenóptera, Isópoda, Orthoptera, Hemíptera y Coleóptera. Para el T2, los órdenes Orthoptera, Araneae, Hymenóptera y Coleóptera. Para el T3 los órdenes fueron Haploxida, Hymenóptera, Miriapodos, Araneae. Finalmente, para el T4 fue Haploxida, Orthoptera y Araneae. Los datos registrados por Brown et al., (2001) en cuanto a órdenes, superan a los de la investigación en ecosistemas tropicales, donde se sabe que la diversidad biológica es mucho mayor comparado con la existente en climas fríos secos como en que se realizó la presente investigación, además que en esta investigación solo se evaluó una localidad.

La densidad de individuos por tratamiento (Figuras 3, 4, 5, 6 y 7) se observó que por orden de presencia a surgen los Gasterópoda, Isópoda, Hymenóptera, Haplotaxid. Siendo este último con mayor presencia en los tratamientos T3 y T4. Asimismo, se evidencio que, a mayor dosis de glifosato, existe una tendencia negativa por número de individuos respecto a la

dosis, decreciendo de 1277 individuos/m² a 473 individuos/m². Finalmente, se observó que: los tratamientos T0 y T1 obtuvieron mayor riqueza específica ($S= 10$ para ambos), siendo menor en los tratamientos T3 y T4 ($S= 6$ y 4 respectivamente). Para el índice de Shannon-Weaver (H'), el tratamiento T0 fue el más diverso con $H'= 1.465$, sin embargo, el que obtuvo menor diversidad fueron los tratamientos T3 y T4 con $H'= 0.758$ y $H'= 0.654$ respectivamente. Observándose el efecto negativo de las dosis de glifosato sobre la calidad biológica del suelo. Estos evidenciaron que la diversidad y la abundancia de estos grupos fueron sustancialmente mayores en los ecosistemas con menores niveles de antropización. Este índice está relacionado con la distribución de individuos por familia. Esto quiere decir que los tratamientos con menor dosis de glifosato presentan una mejor distribución uniforme de macroinvertebrados para cada una de sus familias presentes.

Es fundamental considerar el principio activo e inactivo del glifosato, ya que, al igual que muchos herbicidas, este principio activo se inactiva al entrar en contacto con el calcio y/o magnesio presente en los suelos y en el agua. Como resultado, pierde su eficacia sobre la vegetación. Sin embargo, el producto inactivo causa daños en la superficie del suelo y contamina el nivel freático cuando penetra en la tierra debido a la acción del agua. Este efecto resulta perjudicial para los organismos que forman parte de la macrofauna del suelo (Williams et al., 2000), lo cual fue corroborado por nuestros resultados, que mostraron una disminución en la cantidad de individuos en relación con el aumento de las dosis de glifosato en el suelo bajo el control de la macorilla.

V. CONCLUSIONES

1. Los suelos degradados con *Pteridium aquilinum* “macorilla” presentaron incremento del pH, de extremadamente ácido a fuertemente ácido (T3); materia orgánica (1.0%) y nitrógeno mineral (0.03%) en el suelo (T0) a medios en el tratamiento T4 (3.07% para materia orgánica y 0.14% para nitrógeno). Los valores de fósforo y potasio de valores muy bajos (5.00 ppm y 226.00 kg/ha respectivamente a niveles bajos (T3 y T4). La capacidad de intercambio catiónico efectivo presentó un incremento de valores en los tratamientos T2 y T3. Finalmente se acepta la hipótesis alternante, evidenciándose que a mayor dosis de glifosato (T3 y T4) existe efecto en el control de maleza “macorilla” sobre algunas propiedades químicas del suelo.
2. El tratamiento T0 presentó mayor número de individuos (425.67 ind/m²) y biomasa total (17.03 g/m²) en comparación con los tratamientos T4 y T3, quienes mostraron menor número de individuos (157.67 ind/m² y 254.33 ind/m² respectivamente) y biomasa total (6.23 g/m² y 10.06 g/m² respectivamente). Por lo que, se aprecia un efecto negativo del herbicida sobre la macrofauna del suelo.
3. El T0 mostró mayor abundancia, destacándose los órdenes Gasterópoda Isópoda, Araneae, Hymenóptera, Lepidóptera y Orthoptera. Para el T1 fue Hymenóptera, Isópoda, Orthoptera, Hemíptera y Coleóptera. Para el T2, Orthoptera, Araneae, Hymenóptera y Coleóptera. Para el T3 Haploxida, Hymenóptera, Miriapodos, Araneae. Finalmente, para el T4 fue Haploxida, Orthoptera y Araneae.
4. Los tratamientos T0 y T1 obtuvieron mayor riqueza específica (S= 10 para ambos), mientras que T3 y T4 quienes mostraron menor riqueza específica (S= 6 y 4 respectivamente). Para el índice de Shannon-Weaver (H'), el tratamiento T0 fue el más variado en comparación con los demás tratamientos en estudio con H'= 1.465. Sin embargo, el que obtuvo menor diversidad fueron los tratamientos T3 y T4 con H'= 0.758 y H'= 0.654 respectivamente. Finalmente se acepta la hipótesis alternante, existiendo un efecto negativo de las dosis de glifosato sobre la calidad del suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones que involucren una mayor cantidad de características físicoquímicas y microbiológicas del suelo, considerando la temporada seca como en temporada de estiaje, con la finalidad de realizar una comparación con el presente trabajo y lograr indicadores que faciliten estimar la calidad del suelo.
2. Realizar investigaciones adicionales para determinar el aumento de la población en cada uno de los tratamientos.
3. Establecer un sistema de manejo de maleza como la macorilla con especies vegetales agresivas como *Pueraria montana* “kudzu” o *Arachis pintoi* “maní forrajero” con el propósito de recuperar el suelo gracias al aporte de material senescente y reducción de nitrógeno a amonio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, M. (1998). Introducción a la microbiología del suelo. Traducido por José Peña Cabriales. 2da Edición. México. Libros y Editores S.A. p. 47- 62
- Alvarado, T. (2007). Estudio de los sustratos utilizados en la producción de plantines forestales en el noreste de Entre Ríos. Trabajo Final de Graduación, Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. 37 p.
- Araújo, A. Monteiro, R., Abarkeli, R. (2003). Effect of glyphosate on microbial activity of two Brazilian soils. *Chemosphere, Oxford*. 52: 799-804
- Bazán, R. 2017. Manual de procedimientos de los analisis de suelos y agua con fines de riego. Instituto Nacional de Innovacion Agraria. 1 era edicion. 89 p.
- Bohn, A., Hinrich. L., Mcneal. P., Brian. L., O'Connor. G., (1993). "Química del suelo". Primera Edición. Edit. Limusa S.A. 370 p.
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., Moreno, A., Lavelle, P., Ordaz, V., Rodríguez, C. 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana* 1:79-110
- Cabrera, A. (2003). Estudio de liberación controlada del herbicida Alaclor en suelo y agua mediante la elaboración de microesferas de Etilcelulosa. XL Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Sevilla, España.
- Calderón, M. Quintana, M. López-Piñeiro, A. Hermosín, M. y Cornejo, J. (2005). Estudio preliminar sobre el comportamiento del herbicida en dos suelos de Extremadura. 7: 24-28
- Collins, R y Helling, C.S. (2002). Surfactant-enhanced control of two *Erythroxyllum* species by glyphosate, *Weed Technol.*, 16:851–859

- Correira, M y Oliveira, L. (2000). Fauna de solo: Aspectos gerais e metodológicos. (Documentos N° 112.). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Agrobiologia. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR20001597278>
- Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo: un enfoque Exploratorio. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 415 p.
- Donahue, R. (1989). “Introducción a los Suelos y al crecimiento de las plantas”. Edit. Prentice hall Internacional. 435 p.
- Edson, 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
- Fassbender, Y., Bornemisza, P. (1985). Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. *Journal Environmental Quality* 17: 585-590. 65 p.
- Fernandez, G. (2007). Efeitos de herbicidas na microbiota do solo em sistema fechado. Tesis Doctorado. Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil, Universidad de Estadual Paulista. 60 p.
- Hans, W., Fassbender. (1975). Química de Suelos com ênfasis em suelos de América Latina. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45 p.
- Hernández, C., Ramos, J. Rodríguez, M., López-Hernández, D. (2004). Efectos de enmiendas orgánica y química sobre algunos parámetros bioquímicos y la estructura gremial de comunidades bacterianas en un suelo bajo manejo agrícola. In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo (16). Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo (12) Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. 152 p.
- Hernández, Habarurema, E. Steiner, K., (2004). Soil suitability classification by farmers in southern Rwanda. *Geoderma* 117: 75-87. 98 p.

- Hosokay, A. (2005). Leed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97:131-149. 103 p.
- Huamani, H., Mansilla, L. (1995). Caracterización del estado Nutricional de los Suelos Degradados del Alto Huallaga. En *Tropicultura*. Vol VII No 1-2 Pp 7-17 Tingo María, Perú.
- Inpofos. (1988). Manual de Fertilidad de los Suelos. [en línea]: INPOFOS (<http://www.inpofos.mgr.org/>, Fertilidad de los suelos, abril del 2014).
- Inrena (1995). Mapa Ecológico del Perú guía explicativa. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 202 p.
- Jackson, M. (1982). Análisis Químico de Suelos. 2 da edición. Editorial Omega S.A. Barcelona, España. 653 p.
- Llanos, P. (1984). Concept, components, and strategies of soil health in agroecosystems. *Journal of Nematology* 33(4):169-172.
- Magurran, A. (1989). Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- Mansilla, T. (1998). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators* (article In press). 45 p.
- Martin, I y Adad, R. (2006). Interpretación de las propiedades Físicas del Suelo. Fundamentos para la interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego". Colombia. 57 p.
- Navarro, G y Navarro, S. (2003). Química Agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3 era Edición. Editorial Mundi Prensa. San José, Costa Rica. 445 p.

- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. *Folia Amazónica*. Perú. (12):75-97
- 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
- Prieto, D. (2003). Caracterización de la biodiversidad de la fauna edáfica cubana. Informe final de proyecto. Programa ramal "Sistemática y colecciones biológicas". Facultad de Biología, Universidad de La Habana.
- Ramos, R. (2016). Efecto del glifosato sobre las propiedades del suelo de una plantación forestal de *Cedrela lilloi* C.DC. – Leoncio prado, Huánuco. Universidad Nacional del Centro. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. En línea: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3483/Ramos%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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.
- 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
- Usda. (1998). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Tra. LUTERS A., SALAZAR J.CNIA – Argentina. 88 p.
- 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).
- 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
- World Health (1994). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology & Biochemistry* 37(5):877-887. 25 p.

Zavala, F., Romero, W., Torres, P., Gómez, A. (1998). El sombrero en los cafetales conserva la capacidad de producción de los suelos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Departamento de Recursos Naturales. Informe. Santafé de Bogotá, junio de 1992. 6 p.

Zavala, W. (1985). Los suelos, su origen, constitución y clasificación. Ediciones Omega S.A. Barcelona. McGraw-Hill Interamericana quinta edición 2005. México. 739 p.

Zavaleta, G. A. (1992). Edafología en relación con la producción. 1era Edición-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONCYTEC. Lima, Perú. Editorial A8

ANEXO

Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 8. Vista panorámica de la parcela con presencia de *Pteridium aquilinum* “macorilla”.



Figura 9. Delimitación del área experimental.



Figura 10. Subdivisión de los tratamientos experimentales.



Figura 11. Obtención de muestras de suelo para evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos.



Figura 12. Aplicación del herbicida glifosato en diferentes concentraciones.



Figura 13. Identificación de macro fauna del suelo.



Figura 14. Conteo de lombrices en las muestras de suelo.



Figura 15. Determinación de las propiedades químicas del suelo en Laboratorio.

Anexo 1. Análisis de suelo antes y después del ensayo experimental.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA
Laboratorio de Conservación de Suelos



ANÁLISIS DE SUELOS – CARACTERIZACIÓN

Procedencia : Caserío Soledad, distrito Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco.
 Predio : Parcela degradada con Macorilla
 Solicitante : Bach. Mendoza Muñoz, Liz G.
 Fecha : 12 de Julio 2019.

Número de Muestra	pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES meq/100 gr. de suelo									
						Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	%	%	%
Laboratorio	01:01	%	%	ppm	kg/ha								Bas.Camb.	Ac.Camb.	Sat. Al
M-001 (Testigo)	4.32	1	0.03	5	226	5.8	0.82			0.7	0.1	6.85	90.44	9.56	8.2





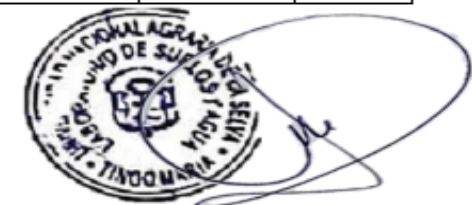
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DEPARTAMENTO CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA
Laboratorio de Conservación de Suelos



ANÁLISIS DE SUELOS – CARACTERIZACIÓN

Procedencia: Caserío Soledad, distrito de Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco
Predio: Parcela degradada con Macorilla
Solicitante : Bach. Mendoza Muñoz, Liz G.
Fecha: 21 de Noviembre 2019.

Número de Muestra	pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CAMBIABLES meq/100 gr. de suelo										
						Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	%	%	%	
Laboratorio	01:01	%	%	ppm	kg/ha								Bas.Camb.	Ac.Camb	Sat. Al	
M101	4.36	1	0.05	7	302	3.05	0.44			2.58	1.24	7.31	47.74	52.26	35.29	
M102	4.38	1	0.05	8	344	3	0.42			2.54	1.2	7.16	47.77	52.23	35.47	
M103	5.44	1	0.05	8	268	5.8	0.82			0.6	0.1	7.32	90.44	9.56	8.2	
M104	5.41	1.2	0.05	8	388	5.34	0.78			2.12	1.2	1.32	49.65	21.54	33.48	
M105	5.25	1.2	0.05	8	349	5.53	0.8			1	0.5	7.83	80.84	19.16	12.77	
M106	4.43	4	0.18	10	294	3.86	0.58			2.38	1.1	7.92	56.06	43.94	30.05	
M107	4.64	1	0.05	8	202	3.75	0.58			1.98	0.75	7.06	61.33	38.67	28.05	
M108	4.34	2.9	0.13	8	304	3.4	0.5			2.6	1.26	7.76	50.26	49.74	33.51	
M109	5.14	4	0.18	11	486	4.65	0.7			1.46	0.6	7.41	72.2	27.8	19.7	
M110	4.73	1.2	0.05	7	259	4.95	0.8			1.94	0.75	8.44	68.13	31.87	22.99	
M111	4.92	1.4	0.06	8	280	3.42	0.5			1.82	0.6	6.34	61.83	38.17	28.71	
M112	5.06	4	0.18	10	449	4.4	0.7			1.5	0.6	7.2	70.83	29.17	20.83	
M113	4.3	2	0.09	7	346	3.1	0.5			2.8	1.4	7.8	46.15	53.85	35.9	
M114	4.44	2	0.09	7	324	4.27	0.7			2.24	1	8.21	60.54	39.46	27.28	
M115	4.73	1.4	0.06	5	286	4.04	0.6			1.93	0.8	7.37	62.96	37.04	26.19	



Anexo 2. Análisis de varianza de densidad y biomasa de macrofauna.

Densidad (ind.m-2)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad (ind.m-2)	15	0.92	0.85	12.89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	126029.33	6	21004.89	14.36	0.0007
Tratamiento	119023.60	4	29755.90	20.35	0.0003
Bloque	7005.73	2	3502.87	2.40	0.1530
Error	11699.60	8	1462.45		
Total	137728.93	14			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=76.1947

Error: 1462.4500 gl: 8

Tratamiento Medias n E.E.

0	425.67	3	22.08	A
1	339.33	3	22.08	B
2	306.67	3	22.08	B
3	254.33	3	22.08	B
4	157.67	3	22.08	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=55.7707

Error: 1462.4500 gl: 8

Bloque Medias n E.E.

II	327.20	5	17.10	A
III	283.60	5	17.10	A
I	279.40	5	17.10	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Biomasa (g.m²)

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Biomasa (g.m ²)	15	0.91	0.85	13.41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	209.26	6	34.88	13.89	0.0008
Tratamiento	196.74	4	49.19	19.59	0.0003
Bloque	12.52	2	6.26	2.49	0.1440
Error	20.08	8	2.51		
<u>Total</u>	<u>229.34</u>	<u>14</u>			

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=3.1568

Error: 2.5103 gl: 8

Tratamiento Medias n E.E.

0	17.03	3	0.91	A
1	13.85	3	0.91	B
2	11.89	3	0.91	B
3	10.06	3	0.91	B
<u>4</u>	<u>6.23</u>	<u>3</u>	<u>0.91</u>	<u>C</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.3106

Error: 2.5103 gl: 8

Bloque Medias n E.E.

II	13.09	5	0.71	A
III	11.34	5	0.71	A
<u>I</u>	<u>11.00</u>	<u>5</u>	<u>0.71</u>	<u>A</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 3. Consolidado de densidad y biomasa de macrofauna por tratamiento

Bloque	Tratamiento	n	Densidad (ind.m ⁻²)	Biomasa (g.m ⁻²)
I	0	3	386	15.44
I	1	3	323	13.75
I	2	3	289	10.43
I	3	3	198	7.58
I	4	3	201	7.81
II	0	3	493	19.72
II	1	3	374	14.96
II	2	3	342	13.68
II	3	3	298	11.92
II	4	3	129	5.16
III	0	3	398	15.92
III	1	3	321	12.84
III	2	3	289	11.56
III	3	3	267	10.68
III	4	3	143	5.72