



Remediación de suelos degradados con glifosato a partir de enmiendas orgánicas a escala laboratorio

Dayana Vanesa Abahonza de la Cruz¹

Oswal Andrés Benavides Mejía²

Cristian Polo Fajardo Escobar³

Jenny Lucía Huertas Delgado⁴

Resumen

El uso de agroquímicos constituye una problemática ambiental en cuanto al deterioro del suelo, debido a procesos erosivos resultantes de la afectación de la matriz. En la presente investigación se evaluó el proceso de remediación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado por el agente químico glifosato, a partir de diferentes enmiendas orgánicas y así, encontrar cuál es la enmienda más eficaz en cuanto a la recuperación de sus componentes. Para ello se tomó muestras de un suelo al que se le aplicó el herbicida y la enmienda; se realizó las mediciones de parámetros como materia orgánica, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico y pH a los 7, 15, 30 y 60 días. Los datos fueron analizados con los programas SPSS y Sigma Plot. Los resultados determinaron que, el abono orgánico presentó mejor comportamiento frente al proceso de remediación, debido a la diferencia en los valores de densidad aparente, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Se logró determinar que, la eficiencia de las enmiendas orgánicas está ligada a su composición; asimismo, se debe considerar factores como tiempo de maduración, carga de elementos o nutrientes, dosis y tiempo de dosificación.

Palabras clave: glifosato; enmiendas orgánicas; remediación de suelo; SPSS.

¹ Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: daabahonza@umariana.edu.co

² Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: oswabenavides@umariana.edu.co

³ Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: crisfajardo@umariana.edu.co

⁴ Universidad Mariana, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co



Introducción

El suelo es uno de los recursos más importantes considerados para la vida, por lo que un suelo contaminado o, que ha sufrido un cambio en sus características físicas, químicas o biológicas, podría resultar incompatible con sus propiedades funcionales de uso en cuanto al desarrollo ecológico; por lo tanto, supondría una amenaza grave para la salud de los seres vivos y el ambiente en donde se desarrolla, puesto que les brinda a las especies vegetales y animales, un espacio para su subsistencia y, de manera directa, un beneficio a los humanos (Vargas et al., 2020). En consecuencia, la alteración del suelo debido a la incorporación antropogénica de sustancias ajenas, es uno de los temas de estudio con más énfasis en la actualidad por los diferentes problemas ambientales y la amenaza real a la salud pública que ha causado (Vargas et al., 2020). Entre los agentes contaminantes que impactan negativamente al suelo están los herbicidas, fungicidas y plaguicidas.

Actualmente, existen diversas técnicas de remediación de suelos, como las enmiendas orgánicas. Segura y Agüero-Alvarado (1997) afirman que

las enmiendas orgánicas son el resultado de la composta (degradación u oxidación) de materiales de origen animal o vegetal y tienen la capacidad de reducir los productos químicos que son agregados al suelo; además, tienen como objetivo, estimular la vida microbiana y la nutrición de las plantas; estas varían en su composición química de acuerdo al proceso de elaboración, duración del proceso, actividad biológica y tipos de materiales que se utilice. (p. 104)

...con la finalidad de evaluar la recuperación de las propiedades fisicoquímicas del suelo a escala laboratorio y, de la misma manera, lograr disminuir los costos de la propuesta.

La presente investigación se basa en el estudio de tres enmiendas orgánicas para la remediación de suelos contaminados por la fumigación, implementando el uso de herbicidas como el glifosato y así, encontrar la más beneficiosa para este tipo de casos. Para ello, se plantea extraer muestras de un suelo correspondiente a la zona altoandina del municipio de Pasto, en inmediaciones del río Bobo, Nariño. Con ello se pretende desarrollar un proceso de contaminación controlada, adicionando glifosato a las muestras de suelo recolectadas; seguido a esto, se incorpora tres tipos de enmiendas diferentes; una se obtiene a partir de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR); otra tiene origen del estiércol de cuy y abono orgánico y, la última, mediante un proceso denominado como vermicompostaje (bio-oxidación y estabilización de la MO por la acción combinada de lombrices), todas ellas, estabilizadas previamente. Este proceso se realiza para determinar qué tipo de enmienda orgánica obtiene mejor rendimiento respecto a la restauración de las muestras contaminadas.

Metodología

Se hizo 25 muestras con cuatro repeticiones cada una, en tiempos determinados, los cuales fueron: 7, 15, 30 y 60 días; las muestras fueron tomadas de un suelo que se encontraba en buenas condiciones, en los cuales se pudo realizar los análisis necesarios para verificar la variación de la MO, pH, CIC y densidad aparente (DA). Estas muestras fueron ubicadas en recipientes de plástico, teniendo en cuenta las diferentes variables de respuesta de los parámetros del suelo.

El muestreo de suelo se llevó a cabo en el corregimiento del río Bobo, en el departamento de Nariño, en un terreno dedicado principalmente a la agricultura, intercambiando siembras de papa, maíz y arveja. El terreno posee un área de 3.750 m²; el muestreo consistió en realizar un recorrido en zigzag haciendo un muestreo sistemático, tomando una muestra de suelo por cada punto especificado. Se trabajó el muestreo realizado con pala y haciendo un corte en V en el suelo, extrayendo 4 kg del mismo que, posteriormente, fueron guardados en una bolsa hermética, para trasladarlos al laboratorio, efectuar la respectiva contaminación con glifosato y, agregar las diferentes enmiendas orgánicas para comenzar el proceso de remediación propuesto en esta investigación. Este trabajo se realizó *ex situ*, en el laboratorio.

Figura 1

Diseño de experimentos (Presente estudio)

	7 Días	15 Días	30 Días	60 Días	
S.C	S.C	S.C	S.C	S.C	S.C: Suelo control
S.C.C	S.C.C	S.C.C	S.C.C	S.C.C	S.C.C: Suelo control + contaminante
S.C.C.V	S.C.C.V	S.C.C.V	S.C.C.V	S.C.C.V	S.C.C.V: Suelo control + contaminante + vermicompost
S.C.C.A	S.C.C.A	S.C.C.A	S.C.C.A	S.C.C.A	S.C.C.A: Suelo control + contaminante + abono orgánico
S.C.C.L	S.C.C.L	S.C.C.L	S.C.C.L	S.C.C.L	S.C.C.L: Suelo control + contaminante + lodos



En el laboratorio se hizo tres repeticiones por cada parámetro medido en cada uno de los días de análisis, como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1

Repeticiones por parámetro en cada uno de los días (presente estudio)

Parámetro	Días de muestreo	Repeticiones	Total de repeticiones
pH	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	
Materia orgánica (%)	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	
Capacidad de intercambio catiónico	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	
Densidad aparente	7	3	12
	15	3	
	30	3	
	60	3	

Para cada uno de los parámetros medidos se empleó técnicas específicas que se describe a continuación:

Tabla 2

Pruebas de laboratorio usadas para medir los parámetros fisicoquímicos (presente estudio)

PARÁMETRO FISICOQUÍMICO	PRUEBA DE LABORATORIO
Materia orgánica	Método de Walkley y Black
Potencial de hidrogeno (pH)	Empleando potenciómetro (pH metro)
Densidad aparente	Método del cilindro graduado.
Capacidad de intercambio catiónico	Titulación con NaOH



Para la determinación de propiedades químicas, las muestras fueron secadas y homogeneizadas para su posterior trituración y tamizado, en malla de 2mm, de tal manera que fuera posible eliminar gránulos de gran tamaño y, su análisis, más eficiente.

Resultados y Discusión

Para la caracterización inicial del suelo se procedió a realizar una calicata, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Calicata realizada en el lugar de extracción del suelo (presente estudio)



De suerte que sea posible evidenciar los horizontes de la misma y realizar extracción de muestras; se evidencia los resultados en la Tabla 3:

**Tabla 3**

Caracterización del perfil de suelo (estudio actual)

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura	Estructura	Munsell color	Color	Moteados	Raíces
H1	0-15	Franco Arcilloso	Granular	10YR2/2	Marrón muy oscuro	10YR7/1 Gris claro	Finas
H2	15-27	Franco Limoso	Granular	7.5YR3/4	Marrón oscuro	10Y2/2 Amarillo muy oscuro	Finas
H3	27-43	Franco	Granular	10YR3/4	Marrón amarillento oscuro	5YR6/8 Amarillo rojizo	Finas
H4	43-57	Franco Arcilloso	Granular	7.5YR4/2	Marrón	Sin moteados	Finas
H5	57-69	Limoso	Granular	5Y2/2	Gris oliva oscuro	Sin moteados	Finas
H6	69-100	Franco Arcilloso	Granular	5Y2/2	Gris oliva oscuro	Sin moteados	Finas

Ya en laboratorio, se procedió a analizar las muestras y determinar parámetros fisicoquímicos del suelo control (suelo sin la enmienda y sin el agente contaminante), como se aprecia en la Tabla 4

Tabla 4

Propiedades fisicoquímicas del suelo control (estudio actual)

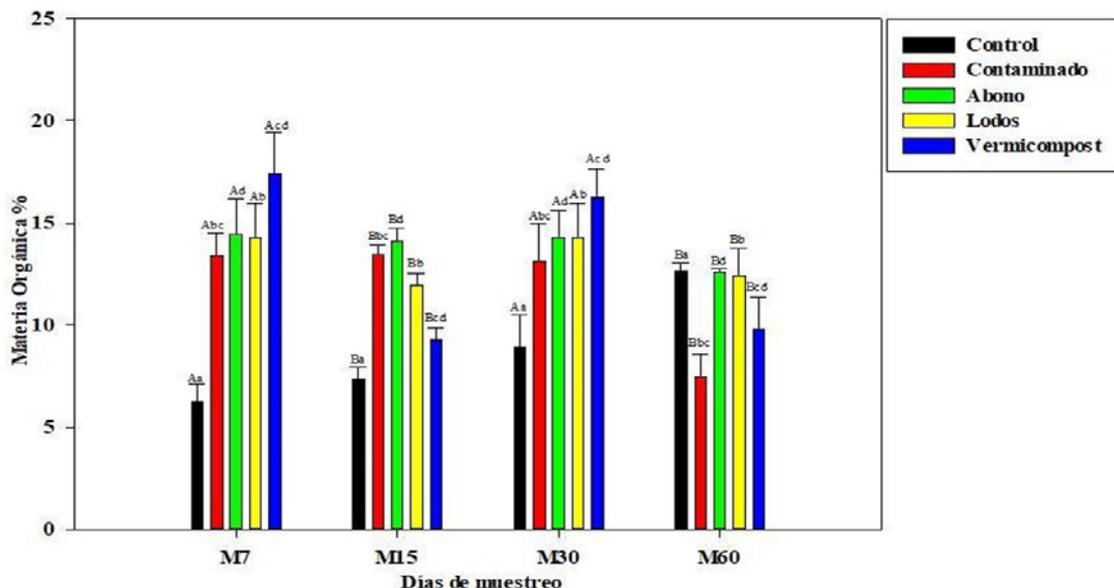
Repeticiones	Suelo control			
	Materia orgánica (%)	H	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	Densidad aparente (g/cm ³)
Repetición 1	7.43	.9	3.06	0.7622
Repetición 2	7.51	.9	3.07	1.473
Repetición 3	7.59	.9	3.06	1.351
Promedio	7.51	.9	0.003	0.9815
Error estándar	0.046			0.11
Desviación estándar	0.08		0.005	0.19

Con relación a la caracterización del suelo control, se procedió a analizar las muestras de suelo con el agente contaminante y las enmiendas orgánicas (Abono orgánico, lodos residuales y vermicompost). Los resultados de las pruebas fueron analizados con el programa estadístico SPSS y SigmaPlot, con lo cual se obtuvo las siguientes figuras y análisis correspondientes:

Materia orgánica

Figura 3

Contenido de materia orgánica en los diferentes tratamientos (estudio actual)



Nota: Letras mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los periodos (días) de muestreo (M7, M15, M30 y M60). Letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos de un mismo periodo de muestreo. Barras indican \pm error estándar.

Los datos de MO muestran que existen diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) y por días de muestreo de 7 y 30 días, con respecto al muestreo de 15 y 60 días, comparando el suelo contaminado y la incorporación de enmiendas orgánicas ya que, según Rubenacker et al. (2011), la adición de enmiendas orgánicas puede influir positivamente en las propiedades fisicoquímicas del suelo, mejorando la CIC y MO, entre muchas otras propiedades del suelo. También se debe a que, el suelo remediado contiene incorporación de la enmienda orgánica, la cual estimula el crecimiento de los organismos vegetales como resultado del aporte de nutrientes al suelo (Cuevas et al., 2006).

Se sabe que, el glifosato adsorbe fuertemente los componentes del suelo (Cuervo y Fuentes, 2014) con relación a la MO. Según estudios realizados por Gerritse et al. (1996), la MO del suelo tiene un alto efecto sobre la absorción del glifosato,



herbicida organofosforado que tiene enlaces C-P. Así como Morillo et al. (2000) y Yu y Zhou (2005) afirman, la interacción entre el glifosato y el suelo está fuertemente relacionada con el contenido de MO, razón por la cual, existe un aumento de MO respecto al suelo contaminado.

Teniendo en cuenta la incorporación de las enmiendas orgánicas respecto al suelo, Restrepo (2007) menciona que este incremento se debe a la variedad de insumos orgánicos utilizados en la enmienda orgánica, como las cáscaras de frutas, verduras, estiércol del cuy, compuestos ricos en carbono y nitrógeno, ya que esto permite el incremento de los nutrientes en el suelo y, por ende, su fertilidad.

Según Rubenacker et al. (2011) y Restrepo (2007), este incremento se debe a la variedad de insumos orgánicos utilizados en las enmiendas, que son compuestos ricos en carbono, nitrógeno, azúcares, almidón y celulosa, los cuales, eventualmente, proporcionan la energía necesaria para el crecimiento y desarrollo microbiano. En el caso del tratamiento con agente contaminante sin enmienda, se evidencia el aumento en la captación de MO, debido a la disociación de las cadenas carbonadas que componen el agente herbicida, el cual es $C_3H_8NO_5P$. No obstante, se ve un declive en el porcentaje de MO en el muestreo de 60 días; esto se refuerza con el estudio de Morillo et al. (2000), quienes concluyen que, el efecto del agroquímico puede deteriorar la cobertura vegetal en tiempos prolongados, como resultado de la inhibición de una enzima, sumado a la metabolización del glifosato por acción de microorganismos, el cual da origen a diversos productos de degradación, entre ellos, el ácido aminometilfosfónico o, mejor conocido, como AMPA.

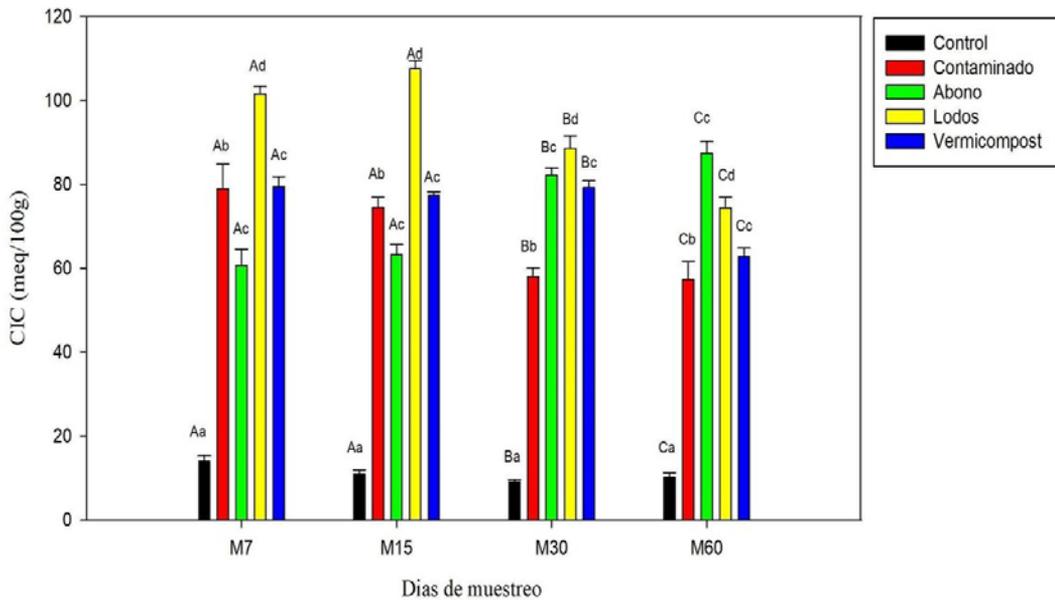
Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo con la Figura 4, se evidencia que no existen diferencias significativas entre las pruebas de 7 y 15 días (M7 y M15); estas, a su vez, muestran diferencias significativas entre los 30 (M30) y 60 días (M60). De acuerdo con Arrieta (2017), esto se debe a la diferencia de nutrientes sintetizados en diferentes periodos y que intervienen en la interacción de iones positivos, como resultados de la retención y liberación de estos, ya sea como acción remediadora, en el caso de las enmiendas y, de degradación en el caso del herbicida (Goya-Castro, 2020). En cuanto a los diferentes tratamientos, es clara la diferencia significativa frente al suelo control y los demás tratamientos; esta es causada por la dinámica microbiológica que se origina a raíz de la captación, degradación, síntesis y sedimentación de los nutrientes y demás elementos orgánicos provenientes de las enmiendas orgánicas; esto es confirmado por Tarapuez (2016), quien encontró que los microorganismos descomponen carbohidratos, proteínas y monosacáridos existentes en el proceso de compostaje en el que se usa residuos sólidos orgánicos.



Figura 4

Capacidad de intercambio catiónico en diferentes tratamientos (estudio actual)



En cuanto a los tratamiento individuales, la enmienda con lodos ostentó la mayor CIC durante las primeras tres pruebas de laboratorio (M7, M15 y M30); esto se debe a la interacción microbiana de la enmienda, la cual, de acuerdo con Sandoval-Estrada et al. (2010), se fortalece debido a la sedimentación y estabilización de bacterias, helmintos y parásitos concentrados en los lodos, según su tiempo de retención hidráulica y procedencia de las aguas residuales (AR), ya sea de origen doméstico o industrial. No obstante, la baja CIC en la última prueba de laboratorio (M60) indica una disminución en la interacción iónica, la cual marca una tendencia respecto a los resultados de la prueba anterior (M30). Por su parte, Torres et al. (2005) pudieron evidenciar que las enmiendas orgánicas a base de lodos residuales presentan mayor actividad sintetizadora durante los primeros 25 días de aplicación; al no existir un aporte de alimento para los microorganismos, la curva dinámica de actividad microbiológica tendrá un declive, lo cual explica el comportamiento del tratamiento con el agente contaminante, ya que los microorganismos no tienen disponibilidad de insumos para degradar y, por lo tanto, no hay mayor presencia de interacción catiónica.

Con relación a la enmienda de abono y vermicompost, se determina que no existen diferencias significativas entre estos tratamientos ($p \geq 0,05$). Para Vázquez y Loli (2018), la velocidad de la descomposición orgánica por acción microbiológica la determinan los componentes celulares del agente proveedor de nutrientes; y, la condición térmica del área de tratamiento, es decir, algunos alimentos y demás, serán degradados con mayor facilidad que otros. A su vez, se debe considerar que el lugar en donde se llevó a cabo las pruebas presenta una baja temperatura, por lo que la dinámica de trabajo de los microorganismos se ve ligeramente reducida; esto

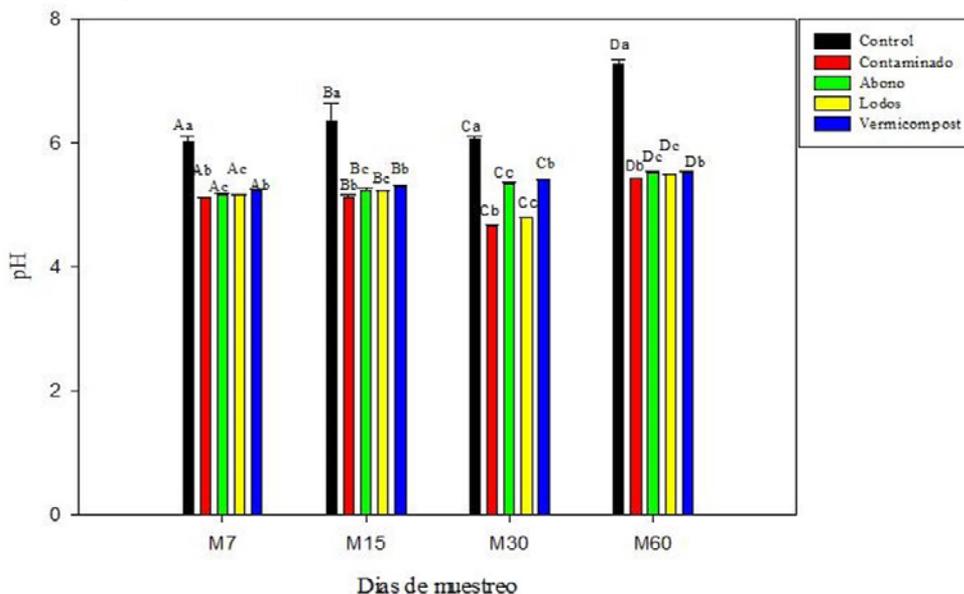
se corrobora con el estudio de Sánchez-Chávez et al. (2015), quienes concluyen que la cinética de degradación de vitaminas, carbohidratos, grasas y aminoácidos se ve influenciada de manera proporcional a la temperatura ambiental; las temperaturas entre 24 y 32 °C son ideales por el aporte energético que generan; potencializan el flujo de movimiento a los microbios y, la demanda de nutrientes para estos.

pH

La Figura 5 muestra que, en pH se obtiene diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los cuatro tiempos de muestreo (7, 15, 30 y 60 días). Referente a los tratamientos, no hay diferencias significativas entre los suelos contaminado y vermicompost, al igual que el abono y lodos. Todos los suelos presentan un pH ácido, pero el que presentó un mejoramiento con respecto al pH es el suelo con abono y vermicompost, ya que se acercan más a un pH neutro.

Figura 5

Potencial de hidrógeno en los diferentes tratamientos (estudio actual)



En cuanto al abono, de acuerdo con Tortosa (2013), el pH aumentará debido a la degradación de compuestos de naturaleza ácida y a la mineralización de compuestos nitrogenados hasta la forma de amoníaco, actuando también el proceso de amonificación como un importante sumidero de protones y, por tanto, favoreciendo al aumento del pH. Debido a esta conducta y a su variación durante el proceso de compostaje, el pH se ha tomado como parámetro indicativo de la buena evolución del proceso.



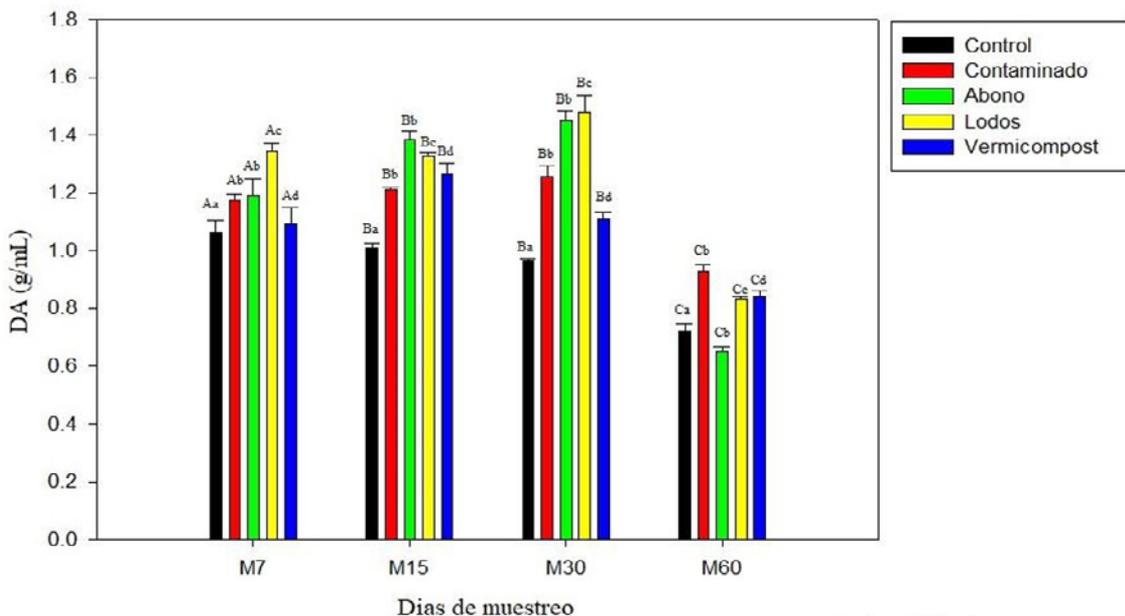
Densidad aparente

Como se puede evidenciar en la Figura 6, la DA como propiedad física, se ve influenciada por los elementos que entren en contacto con las fracciones de suelo; en este caso, los resultados indican que entre los muestreos de 15 y 30 días (M15 y M30) no existen diferencias significativas; sí las hay, tanto para el muestreo de 7 días (M7) como con el de 60 días (M60); esto se debe principalmente a que, a mayor tiempo, mayor proporción en la degradación de los nutrientes. Según Carrasco (2017), esto explica los resultados finales frente a los iniciales. Cabe resaltar que las enmiendas, en general, lograron reducir la DA respecto al tratamiento sin la enmienda orgánica y con el agente contaminante.

Casas (2007) encontró que, la actividad microbiológica con los nutrientes favorece la formación de polisacáridos, que son materiales sedimentables que contribuyen a la unión de las arcillas presentes en el suelo, mejorando notoriamente la formación de agregados, dando paso a un aumento en la porosidad. Por otra parte, se puede evidenciar un aumento en la DA durante los primeros tres muestreos; en parte, esto se debe a la incorporación del contaminante, el cual tiene una densidad mayor (1.69 g/mL) a la DA del suelo control (0.98 g/mL), considerando que no existe aporte de enmienda. La integridad estructural tiende a decaer debido a la reducción de actividad microbiológica, erosión del suelo y bajo intercambio de nutrientes (Puricelli, 2005).

Figura 6

Densidad aparente en los diferentes tratamientos (estudio actual)





Por otra parte, Matheus et al. (2007) encontraron que, la cantidad de abono orgánico es un factor limitante en el aporte de elementos esenciales, lo que contribuye significativamente con la biodisponibilidad de nutrientes a largo plazo, mejorando la permanencia de microorganismos y, al mismo tiempo, el sistema estructural del suelo, dando lugar a una mayor aireación y retención de humedad (Joya, 2019); esto concuerda con el presente estudio, puesto que en el M60, el tratamiento de abono orgánico ostentó la menor DA, reafirmando la viabilidad de aumentar la cantidad de insumos orgánicos para su posterior degradación.

La enmienda con vermicompost mejoró significativamente el valor de DA frente al suelo contaminado durante los últimos dos periodos de muestreo (M30 y M60), aunque, no logró estar en mejores o iguales condiciones respecto al suelo control, difiriendo con la tendencia de disminuir esta propiedad por presencia de la enmienda. No obstante, Vázquez y Loli (2018) evidenciaron que el vermicompost puede presentar “estructuras masivas, como consecuencia de la disociación de fluidos acuosos remanentes del proceso de digestión durante la estabilización de la enmienda” (p. 19), dando paso a procesos erosivos que pueden variar el grado, según el tiempo y las condiciones del compostaje, aunque es posible que los resultados de DA mejoren si se realiza un análisis durante periodos de tiempo más largos, como sostienen Sánchez-Hernández et al. (2006), cuyo estudio determinó la efectividad del vermicompost como agente capaz de restaurar la estructura de un suelo arcilloso en periodos de 60 días, considerando variables como: dosificación e insumos orgánicos ofertados en el proceso.

En el caso de la enmienda con lodos, se evidencia un incremento significativo frente a los otros tratamientos, ostentando el valor más alto de DA en el periodo de los 30 días (M30), debido principalmente, a que los depósitos de lodos tienden a reafirmarse con el trascurso del tiempo, de modo que logran equilibrar un estado sólido (duro) que les permite obtener mayor compactación, la cual varía en función de las condiciones ambientales presentes (Cuevas et al., 2006); es decir, al entrar en contacto con la fracción de suelo, se obtiene una mezcla de suelo semi-compactado (lodos) y suelo poroso (Aravena et al., 2007); por otro lado, López-Colonia y Mendoza-Ríos (2018) determinaron que, es factible utilizar lodos secos durante la aplicación de la enmienda, puesto que facilitaría la sedimentación de partículas más pequeñas y su agrupación, a causa de la actividad microbológica o por disgregación.

Conclusiones

Las enmiendas demostraron ser efectivas en la remoción del agente contaminante al finalizar el periodo de análisis fisicoquímico, pero, la enmienda con abono orgánico logró optimizar de mejor forma parámetros como MO, DA, CIC, entre otros.

La morfología del lugar de extracción de las muestras empleadas en el presente trabajo, tiene relación con sus propiedades físicas y químicas y su variación,



respecto al tiempo, aun en ausencia de actividad antrópica, considerando que los procesos de formación del suelo varían, dependiendo de las condiciones ambientales presentes en el espacio de estudio.

Los suelos de origen andisol presentan condiciones físico-químicas que se encuentran en un rango de puntuación considerado como óptimo para la estructura del suelo y el desarrollo de las diferentes actividades biológicas y microbiológicas.

Referencias

- Aravena, C., Valentín, C., Diez, M. C., Mora, M. L. y Gallardo, F. (2007). Aplicación de lodos de planta de tratamiento de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 7(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912007000100001>
- Arrieta, C. (2017). *Síntesis de Nano partículas de Plata (AgNP), mediada por metabolitos secundarios presentes en el fermento Moringa oleífera. Estudio de actividad antimicrobiana* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/handle/20.500.12930/2622>
- Carrasco, C. M. (2017). *Evaluación de las propiedades físicas e hidráulicas de suelo en líneas de piedras con aplicación de estiércol de caprino* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152744>
- Casas, R. R. (2007). Principales efectos de la intensificación y expansión de la agricultura sobre la salud de los suelos. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27741>
- Cuervo, J. L. y Fuentes, C. L. (2014). Mineralización y adsorción del 14C-glifosato en muestras de tres tipos de suelo provenientes de El Espinal, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 287-297. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.129>
- Cuevas, J., Seguel, O., Ellies, A. y Dörner, J. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 6(2), 1-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912006000200001>
- Gerritse, R., Beltrán, J., & Hernández, F. (1996). Adsorption of atrazine, simazine, and glyphosate in soils of the Gngangara Mound, Western Australia. *Australian Journal of Soil Research* 34(4) 599-607. <https://doi.org/10.1071/SR9960599>
- Goya-Castro, N. I. (2020). *Análisis de las estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (TPH)* [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51387>

- Joya, C. Y. (2019). *Enmiendas retentivas de humedad en el cultivo de acelga (Beta vulgaris var. Cycla) cv. Fordhook Giant* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3013255>
- López-Colonia, A. G. y Mendoza-Ríos, C. N. (2018). *Efecto de las diferentes concentraciones de lodos secos del PTAR - COVICORTI para el mejoramiento de suelos áridos* [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3236847?show=full>.
- Matheus, J. E., Caracas, J., Montilla, F. y Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L). *Agricultura Andina*, 13, 27-38.
- Morillo, E., Undabeytia, T., Maqueda, C., & Ramos, A. (2000) Glyphosate adsorption on soils of different characteristics. Influence of copper addition. *Chemosphere*, 40(1), 103-107. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00255-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00255-6)
- Puricelli, E., Tuesca, D., Faccini, D., Nisensohn, L. y Vitta, J. I. (2005). Análisis en los cambios de la densidad y diversidad de malezas en rotaciones con cultivos resistentes a glifosato en Argentina. http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/puricellienrique.pdf
- Restrepo, J. (2007). *Manual práctico. El ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas*. Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible (SIMAS).
- Rubenacker, A., Campitelli, P., Sereno, R. y Ceppi, S. (2011). Recuperación química de un suelo degradado mediante la utilización de un vermicomposto. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(2), 83-95.
- Sánchez-Chávez, W., Cortez-Arredondo, J., Solano-Cornejo, M., & Vidaurre-Ruiz, J. (2015). Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abejas. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 111-118. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.03>
- Sánchez-Hernández, R., Ordaz-Chaparro, V. M., Benedicto-Valdés, G. S., Hidalgo-Moreno, C. I. y Palma-López, D. J. (2006). Regeneración estructural de un suelo arcilloso por aportes de vermicompost en la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 22(1), 13-26. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a22n1.323>
- Sandoval-Estrada, M., Celis-Hidalgo, J., Stolpe-Lau, N. y Capulín-Grande, J. (2010). Efecto de enmiendas con lodos urbanos y de salmonicultura en la estructura de un Entisol y un Alfisol en Chile. *Agrociencia*, 44(5), 503-515.



- Segura, C. y Agüero-Alvarado, R. (1997). Combate de coyolillo (*Cyperus rotundus*) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) hacia un manejo integral. *Agronomía Mesoamericana*, 8(2), 101-106.
- Tarapuez, A. (2016). *Aprovechamiento de los residuos sólidos de la cadena productiva del cuy (Cavia porcellus) mediante compostaje para el uso en cultivos de forraje en la zona altoandina del departamento de Nariño* [Tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. <https://es.slideshare.net/anatarapuez/aprovechamiento-de-los-residuos-slidos-de-la-cadena-productiva-del-cuy>
- Torres, P., Escobar, J. C., Pérez, A., Imery, V., Nates, R., Sánchez, G., Sánchez, M. y Bermúdez, A. (2005). Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales - PTAR. *Ingeniería e Investigación*, 25(2), 54-61.
- Tortosa, G. (2013). Criterios para obtener compost de calidad para la producción industrial de abonos y enmiendas orgánicas. <http://www.compostandociencia.com/2013/05/criterio-calidad-composts-como-abonos-html/>
- Vargas, B., Escobar, Y., Rodríguez, R., Ramos, Y. M., Rodríguez, E. J. y Fuentes, O. (2020). Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba. *Agrisost*, 26(3), 1-10.
- Vázquez, J. y Loli, O. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 43-52. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05>
- Yu, Y. & Zhou, Q-X. (2005). Adsorption characteristics of pesticides methamidophos and glyphosate by two soils. *Chemosphere*, 58(6), 811-816. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.064>