

**Caracterización de Microorganismos Endémicos Útiles para Biorremediación de
Glifosato Implementables en el Municipio de La Hormiga, Valle del Guamuez Putumayo
2024**

Jennifer Escobar Herrera

Asesor

Claudia Parra Cortes

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2024

Dedicatoria

A mi maestra Mónica Navia, su apoyo en el momento correcto encaminó mi comportamiento, me brindó bases sólidas para mejorar como persona.

A mi profesora Yolanda Prado, es para mí un privilegio contar con su amistad.

A mi maestra Cilia Ruby Martínez con sus orientaciones sobre filosofía, aprendí a pensar diferente.

A mi tutora de proyecto Claudia Parra porque fue de gran apoyo, con sus orientaciones, así fue mucho más sencillo este proceso, es de admirar la dedicación que tiene, el amor por lo que hace, de verdad gracias.

Enaltezco a quienes han optado por la enseñanza como forma de vida, son seres que con sus conocimientos son de gran apoyo para la vida de miles.

Tuve profesores y maestras, los profesores me hicieron un ser más independiente, más capaz, más resiliente y mis maestras un ser más empático, más sensible, más amoroso, es definitivamente de valorar lo que te ayuda a ser mejor persona.

Agradecimientos

A mi muy amada hermana Jessica Herrera “yeyo”, por todo su esfuerzo, dedicación, amor, lealtad y acompañamiento en todos los procesos que inicio y termino, este es uno más, recuerdo que en los inicios quería llorar del desespero y cinco años después ya quiero llorar, pero de la felicidad.

A mi madre Myriam Herrera, por su tenacidad y berraquera, por enseñarme tanto.

A mi compañero de batallas, Yefferson Yepes, ¡gracias por estar ahí!.

A Alexander Rodríguez, su esposa Doralí Daza y a José Bastidas, quienes me brindaron apoyo continuo en la realización del trabajo de campo.

A Paula Andrea Yepes Silva, por brindarme su ayuda en los momentos que he necesitado.

A Karolina Mejía, Yolanda Gómez y Jaider Méndez, por hacer más ameno parte del proceso final.

Resumen

El uso indiscriminado de herbicidas provoca pérdida de los microorganismos necesarios para la actividad agrícola, inicialmente el gobierno con el programa de erradicación de cultivos ilícitos y seguido por los agricultores en el control de arvenses han provocado la muerte de especies endémicas como insectos, microfauna, y a su vez, la ausencia de microorganismos necesarios para realizar procesos metabólicos los cuales contribuyen en el sostenimiento de la materia orgánica presente en el suelo, vital para la nutrición de las plantas. Sin embargo, cuando no hay condiciones adecuadas para estos procesos no se realizan bien, lo que ocasiona alteraciones en los suelos para la agricultura, afectando la sostenibilidad, seguridad alimentaria, economía familiar, local, departamental y el desarrollo social, entre otros; en la presente investigación se caracterizaron los suelos de dos fincas diferentes (producción limpia y producción tradicional con uso de agroquímicos), provenientes del municipio de La Hormiga Putumayo, determinando pH, materia orgánica, fosforo, textura, CIC, adicionalmente se aislaron microorganismos de suelos, bacterias promisorias en el proceso de degradación del glifosato N-(Fosfometil) glicina, con potencial de uso en biorremediación, las cuales crecieron en placas de Petri con agar nutritivo con adición de glifosato en dosis proporcionales a los tratamientos en campo 3.5 L/ha dosis comercial, 7 L/ha dosis para control de pastos y 10 L/ha dosis para erradicación de cultivos ilícitos, con un testigo absoluto sin adición de glifosato; la biorremediación es una herramienta que permite mejorar las condiciones de una zona que presenta contaminación por medios de microorganismos o provenientes de ellos. En este caso, los microorganismos transformarán el contaminante, empleando las capacidades metabólicas que tengan disponibles, siendo ello posible tanto en aerobiosis como en anaerobiosis.

Palabras claves: Microorganismo, Sostenibilidad, Bioaumentación, Contaminación,
Materia orgánica.

Abstract

The indiscriminate use of herbicides causes the loss of microorganisms necessary for agricultural activity, initially by the government with the illicit crop eradication program and followed by farmers in the control of weeds have caused the death of endemic species such as insects, microfauna, and in turn, the absence of microorganisms necessary to carry out metabolic processes which contribute to the maintenance of organic matter present in the soil, vital for plant nutrition. However, when there are no adequate conditions for these processes, they do not carry out well, which causes alterations in soils for agriculture, affecting sustainability, food security, family, local, departmental economy and social development, among others; in the present investigation the soils of two different farms were characterized (clean production and traditional production with the use of agrochemicals), from the municipality of La Hormiga Putumayo, determining pH, organic matter, phosphorus, texture, CEC, additionally microorganisms were isolated from soils, promising bacteria in the degradation process of glyphosate N- (Phosphonomethyl) glycine, with potential for use in bioremediation, which grew in Petri dishes with nutrient agar with the addition of glyphosate in doses proportional to the field treatments 3.5 L / ha commercial dose, 7 L / ha dose for pasture control and 10 L / ha dose for eradication of illicit crops, with an absolute witness without the addition of glyphosate; Bioremediation is a tool that allows for improving the conditions of an area contaminated by or originating from microorganisms. In this case, the microorganisms will transform the contaminant, using their available metabolic capacities, which is possible in both aerobic and anaerobic conditions.

Keywords: Microorganism, Sustainability, Bioaugmentation, Contamination, Organic Matter.

Tabla de Contenido

Introducción	14
Descripción del Problema	16
Formulación del Problema	16
Justificación	17
Objetivos	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
Marco de Referencia	21
Estado del Arte	21
Contexto Histórico	23
Leyes	24
Tratados	25
Marco Teórico	26
Generalidades del Glifosato	26
Modo de Acción del Glifosato	26
Aminoácidos Afectados por el Glifosato	27
Importancia de la Ruta Metabólica Shikimato en las Plantas	27

Permanencia del Glifosato en los Suelos	27
Afectación del Glifosato en la Salud de los Seres Humanos	28
Afectación del Glifosato en la Salud de los Animales	28
Afectación del Glifosato en el Departamento del Putumayo	30
Comercialización Mundial del Glifosato	31
Métodos	33
Metodología	33
Tipo de Estudio	34
Primer Análisis de Suelo	34
Captura de Microorganismos	34
Preparación de Fermento	34
Agregación de Microorganismos al Fermento	35
Repetición	35
Segundo Análisis de Suelo	35
Resultados	36
Primer Resultado	36
Segundo Resultado	38
Conclusiones	44

Discusión.....	45
Recomendaciones	47
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices.....	53

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Área de crecimiento de los microorganismos, descripción de los muestras.....</i>	37
--	----

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Área de crecimiento en (9 cm²/72 horas)</i>	39
Figura 2 <i>Área de crecimiento en (9 cm²/72 horas). Replica procedimiento</i>	39

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Primeros resultados laboratorio finca El Bufe y La María</i>	53
Apéndice B <i>Segundos resultados laboratorio finca La María y el Bufe</i>	54
Apéndice C <i>Ejemplo área de medición con el programa imagej</i>	55
Apéndice D <i>Crecimiento de Bacillus en cultivo agar nutritivo</i>	56
Apéndice E <i>Prueba textural en campo para las dos fincas</i>	57
Apéndice F <i>Trampas de arroz para la captura de microorganismos nativos</i>	58
Apéndice G <i>Crecimiento microorganismos nativos</i>	59
Apéndice H <i>Participación y ponencia</i>	60

Introducción

El glifosato es uno de los herbicidas más utilizados a nivel mundial, este limita la realización de procesos necesarios para la síntesis de proteínas y sin ellas no se da el crecimiento, así como la supervivencia de las plantas.

El glifosato es sistémico, de amplio espectro, es decir, aunque se aplica para acabar los arvenses, las hierbas que afectan los cultivos en las competencias por los recursos, al no tener especificación, acaba con todas las especies presentes, incluyendo especies benéficas, los cultivos, especies endémicas y follajes, desencadenando alteraciones ambientales, que a su vez causan la pérdida de materia orgánica, muerte de microorganismos y de insectos benéficos para la agricultura, provocando así que se den más plagas y mayor resistencia de los arvenses, causando que los agricultores implementen el uso de mayores concentraciones, de forma más repetitiva, dando como resultado más afectación y contaminación en los suelos, pareciera que no hay forma de mejorar este aspecto, pues estamos en un círculo vicioso del cual no hemos sido capaces de salir, es por ello que se realizó esta investigación, la cual presenta un carácter mixto, aplicando programa infostat, se pretende evaluar microorganismos endémicos, con el fin de caracterizarlos e implementarlos en suelo del Putumayo por medio de la bioaumentación, con el propósito de reducir afectaciones del glifosato, la investigación se realizó en dos fincas, la finca testigo El Bufo, comprendida por ocho hectáreas y está ubicada en la vereda las Delicias, municipio de La Hormiga, Valle del Guamuez, Putumayo, con una Latitud N 0°21'20.21,328. Longitud W 76°52'1,10388. La segunda está ubicada en el Cairo, municipio Valle del Guamuez, La Hormiga Putumayo, con una Latitud N 0°22'45.9. Longitud W 76°53'01.6 comprendida por 31 hectáreas, en ella se tienen vacas con propósito lechero, así mismo tienen cultivos de plátano, yuca, arazá, ñame, banano, aguacate, naranja, lima, limón, papaya, chontaduro y peces, para

consumo interno. Suelo inceptisol con 3600 mm anuales, los meses de menos lluvia son enero, febrero, junio y julio, temperatura promedio de 28°C, con altitud entre 250 a 290 msnm, radiación solar 4.5 horas. Se tomarán muestras de suelo de cinco zonas de la finca testigo El Bufe y diez muestras de la finca La María, de la cual la zona de muestreo está comprendida por 50 M², se realizarán análisis de suelos a ambas fincas, antes de agregar los microorganismos a estudiar y posterior a esto, con los resultados se procederá a analizar información, que permitirá concluir cual es el mejor tratamiento, así como el que menos aporte brinde. El tiempo estimado de la presente investigación es de un año. Con la realización de esta, se desea conocer cual o cuales microorganismos endémicos pueden ser implementados en suelos del Putumayo, más específicamente en la vereda el Cairo, finca La María y la finca El bufeo, ambas del Valle del Guamuez Putumayo. Con el propósito de mejorar las propiedades del suelo, aumentar la población de macro y microflora, fauna, aumentar contenido de materia orgánica de nuestros suelos. Siendo una opción amigable y sustentable podría mejorar las propiedades del suelo, así como contribuir a una agricultura más orgánica y a su vez con la seguridad alimentaria.

Descripción del Problema

Pérdida de las propiedades del suelo, a causa del uso extensivo e intensivo del glifosato en la finca La María, Vereda El Cairo, Valle del Guamuez, Putumayo.

Formulación del problema

El suelo ha perdido sus propiedades producto de prácticas inadecuadas, tales como la utilización de químicos que han dejado una gran huella negativa, uno de los cuales es el glifosato, aplicado por el gobierno hace algunos años. Se han aplicado grandes cantidades, afectando no sólo en el lugar de aplicación, de acuerdo al método se estima que las zonas colindantes fueron también afectadas, además de esto, fue y es utilizada por los agricultores, lo que ha provocado la muerte de especies endémicas, insectos benéficos para la agricultura, pérdida de macro y micro flora y fauna, de materia orgánica, ausencia de microorganismos necesarios para la realización de los procesos metabólicos del suelo y las plantas. Sin las condiciones adecuadas estos procesos no se llevan a cabo de manera correcta, lo que desencadena una gran variedad de alteraciones y finalmente suelos inútiles para la agricultura, afectando la sostenibilidad, seguridad alimentaria, agricultura, economía familiar, economía local, desarrollo social, entre otros.

Justificación

Siendo la agricultura una de las actividades más longevas y necesarias para la vida de los seres vivos, representa gran importancia, ya que nos brinda seguridad alimentaria, influye en la economía, aspectos sociales, ambientales, sostenibilidad, entre otros. Al ser Colombia un país fuertemente agrícola, con gran capacidad productiva debido a sus suelos, variedad de pisos térmicos y ubicación geográfica, se puede deducir fácilmente, que si la anterior actividad llega a reducir su producción o presentar alteraciones que la afecte, podríamos presentar cambios negativos en todos los aspectos.

Uno de los químicos más utilizados en la producción agrícola es un herbicida, llamado comúnmente glifosato, uno de los responsables de la muerte de especies endémicas, microflora y fauna, pérdida de materia orgánica, contaminación de las fuentes hídricas. Según Montenegro, S. P., Pulido, S. Y., & Vallejo, L. F. C. (2021), son las tres causas que dan contaminación difusa del suelo, “deposición atmosférica, agricultura e inundaciones”. En este caso, la obra del hombre con exceso de aplicación de glifosato con varios propósitos y las inundaciones son las principales razones, que afectaron y siguen afectando nuestros suelos.

El glifosato fue utilizado doblemente en Colombia hace algunos años, primeramente, por el gobierno, este lo implementó en las aspersiones aéreas, con el propósito de combatir y erradicar los cultivos ilícitos. Según Quintero, J. M. J. (2020). De acuerdo con varios estudios sólo del 10 al 14% del uso total de este herbicida se utilizó para la erradicación de coca y amapola. Seguido por los agricultores, los cuales lo aplicaron y aún en la actualidad lo aplican en varias de sus etapas productivas, por ejemplo, se usa para deshidratar granos, madurar la caña de azúcar, controlar arvenses, entre otros, de hecho, son nuestros campesinos y agricultores quienes están utilizando con más repetición este herbicida, tratando de solucionar un problema están

generando uno mayor, ya que las afectaciones por el uso de químicos se están notando en nuestros suelos.

El mismo Quintero, J. M. J. (2020). Citando a Nivia, E. (2000) indica que,

A) En las aplicaciones terrestres entre el 14 y 78% no se queda en el lugar, causando que mueran “40 especies, por lo mismo, entre 100 y 400 metros de la aplicación las especies presentes pueden morir.”

B) En las aplicaciones con helicópteros entre el 41 y 82% cae en otros sitios, abarcando distancias de hasta 800 metros.

C) En las aplicaciones con avión, el glifosato sale entre 800 y 1200 metros.

De tal forma se evidencia que es un químico que deja gran huella negativa, no sólo en el lugar de aplicación sino a grandes distancias de ella.

La implementación de químicos en la agricultura ha generado una gran afectación al medio ambiente, amenaza la seguridad alimentaria, estabilidad laboral, económica, social entre otros. Se requiere un cambio de comportamiento por parte de nuestros agricultores, ya que las costumbres actuales donde se utiliza gran cantidad de químicos no están ayudando a mejorar las condiciones del suelo, para esto se deben entregar bases sólidas que demuestren afectaciones producidas por químicos, así como aspectos que les puedan beneficiar con la implementación de técnicas más amigables con el medio ambiente, sin generar mayor afectación en sus ingresos.

La biorremediación es una de las formas de reducir la contaminación más sostenible, ya que no genera huella negativa, al utilizar plantas, microorganismos o algunas partes de estos. Por tal motivo se consideró la implementación de esta, para mejorar las condiciones del suelo.

Con la realización de la presente investigación se desea conocer si microorganismos endémicos y no nativos pueden ser implementados en el Putumayo, más específicamente en la vereda las Delicias, fincas El Bufe y La María, en la vereda del Cairo, Valle del Guamuez, Putumayo. Con el propósito de aumentar la población de macro y microflora y fauna, cambio de mentalidad por parte del agricultor, e implementación de técnicas más amigables con el medio ambiente, así como el mejoramiento de la calidad de nuestros suelos. Siendo una opción amigable y sustentable para mejorar las propiedades del suelo.

Objetivos

Objetivo General

Caracterizar microorganismos útiles para biorremediación de glifosato, implementables en el municipio Valle del Guamuez, La Hormiga, Putumayo.

Objetivos Específicos

Aislar microorganismos provenientes del suelo, con capacidad de biodegradación de glifosato.

Evaluar la tolerancia a diferentes concentraciones de glifosato de las cepas identificadas.

Seleccionar microorganismos con mayor capacidad biorremediadores de glifosato.

Marco de Referencia

Estado del Arte

Según Montenegro, S. P., Pulido, S. Y., & Vallejo, L. F. C. (2021), la biorremediación es el proceso donde se utilizan seres vivos tales como plantas, microorganismos o partes de estos, con el fin de desaparecer o mitigar afectaciones producidas por el hombre al medio ambiente.

Existen métodos de biorremediación “aeróbicos, anaeróbicos y fisicoquímicos en filtros y lecho fijo y biorreactores”. La técnica bioaumentación, consiste en aumentar microorganismos con el fin de eliminar cierta contaminación, es una alternativa muy usada.

Noachas Asaf, E. (2022) menciona que los GDM (microorganismos degradadores de glifosato) son muchos, sin embargo, los más destacados son los que presentan la capacidad de degradar el glifosato como única fuente de fósforo, carbono o nitrógeno. Los que presentan mayor efectividad biorremediador son los que ocupan el carbono debido a la alta demanda de este en el crecimiento y la actividad metabólica.

González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. (2022), el glifosato antes de convertirse en AMPA tiene un tiempo de vida de 2-215 días, en el agua es de 2-91 días. González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. (2022), el porcentaje de biodegradación del glifosato depende de factores como tipo de suelo, pH, concentración de fosfatos, condiciones ambientales, microorganismos especialmente el O₂ disuelto en agua.

Así mismo Nivia, E. (2000), gracias a la realización de diversos estudios, en varios países el lugar donde más duración ha tenido permanencia es en Suecia, se ha hallado glifosato de 1 a 3 años en 11 sitios forestales, indicando además que “no es fácil detectar residuos en laboratorio de sustancias solubles en agua como lo es el glifosato”, esto debido a que las pruebas que se

realizan en el laboratorio se realizan con solventes orgánicos, por tal motivo, se recomiendan pruebas biológicas, así como cultivos susceptibles.

Según González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. (2022), citando a (Romano-Armada et al .2019), un aspecto del cual depende el tiempo de degradación del glifosato en el suelo es el porcentaje y tipo de arcilla; ya que lo adsorbe en mayor cantidad, si posee más arcilla. así mismo, indica en pH menores o alcalinos el tiempo de vida del glifosato es menos que en suelos ácidos.

Según Nivia, E. (2000), en las aplicaciones que se realizaron para combatir cultivos ilícitos en Colombia se aplicaron en la formulación Rodeo, cuatro veces más que Roundup, es decir, más que 1.1 Kg/h. por tal motivo la afectación fue mucho mayor.

Según Parada Bernal, J. (2021), al considerarse el narcotráfico como un delito que afecta a varias naciones, de esta forma, da herramientas a Estados Unidos para destacarlo en la agenda mundial y por medio de la misma, influir para que en Colombia, y especialmente en el Putumayo, se retomen aspersiones con glifosato, lamentablemente no se considera la gran importancia que tiene este departamento, es demasiada riqueza ambiental, siendo parte de la Amazonia, forma parte del llamado pulmón del mundo, brinda recursos irremplazables y necesarios para la sostenibilidad de todos los seres vivos a nivel global.

Se requiere un cambio de lente para analizar la situación, más que la producción, que sí, y según lo indica Parada Bernal, J. (2021), Colombia produce cerca del 80% de la cocaína del mundo, se debe analizar el consumo por parte de los Estados Unidos, se podría pensar, que se les salió de las manos controlar a sus habitantes, esto tiene un sinfín de razones, considero que la llamada libertad cambió y se convirtió en libertinaje, al menos para muchos de ellos, donde cada uno hace lo que le place sin importar las afectaciones a los demás. Es obligación del gobierno de

los Estados Unidos controlar a los consumidores o compradores, ellos son los que hacen más lucrativa la producción de este cultivo ilícito.

Contexto Histórico

Según Martínez, S. L. G., & Ospina, J. E. A. (2015)., en Colombia desde el año 1962 inició la industria de plaguicidas. Oстера, J. M., Malanga, G. F., & Puntarulo, S. Á. (2016), el glifosato fue patentado por Monsanto en el año 1970. Martínez, S. L. G., & Ospina, J. E. A. (2015), en el año 1999 debido al aumento de producción y tráfico de cocaína y con parte del financiamiento de Estados Unidos se anunció el Plan Colombia que consistió en la implementación de “aspersiones aéreas en cultivos de coca” Parada Bernal, J. (2021), el día 22 de diciembre del año 2000, autorizado por Pastrana y Clinton se aplicó glifosato marca Round-Up- Ultra con aspersiones aéreas en el Putumayo ya que se registraba entre 55.000 -70.000 hectáreas cultivadas con coca. Así mismo del 2005-2010 se implementó la fusión de política militar “de Seguridad Democrática, Plan Patriota”. En el 2014 se dio fin al Plan Colombia, de esta forma se cancelaron las aspersiones aéreas con glifosato.

Lamentablemente se puede observar que se han centrado las acciones hacia el productor, nuestros agricultores, nuestros suelos, están contaminando nuestros recursos naturales, lo que ha causado, desesperanza, el campesino ya no quiere y no puede producir alimentos, debido a los incrementos para producir y el bajo costo por la compra de sus productos, la falta de incentivos y apoyo por parte del estado, causando éstos y sus familias estén migrando a las ciudades, los hijos de los campesinos ya no quieren ser agricultores ni productores, ahora buscan alternativas que generen más reconocimiento en todos los aspectos.

Leyes

De acuerdo con la Constitución Nacional Colombiana de 1991, actualizada con sus respectivos Actos Legislativos en 2016, son tres los artículos que se refieren a aspectos ambientales, el artículo 8, 79 y el 80. Con la implementación del glifosato en las actividades agrícolas se violaron estos artículos, ya que se ha reducido nuestra flora y fauna, han matado nuestros microorganismos necesarios para la agricultura, se han muerto un sinnúmero de insectos benéficos, se han extinguido especies endémicas, se han contaminado nuestras fuentes hídricas.

Lamentablemente, este herbicida se sigue aplicando, lo que sigue provocando afectación y no da espacio para la mejoría. Desarrollo sostenible, nada más contradictorio con la aplicación de este herbicida, no se tiene sostenibilidad al acabar todo a su paso, este herbicida tiene huella negativa, quedando hasta tres años en el suelo, si se aplica de forma repetida, como fue el caso, es mucho mayor la afectación. La clase campesina a través de la historia ha sido la más afectada y en este caso no es la excepción, se ha estigmatizado al campesino por la práctica realizada, cultivos ilegales y excusándose con esto, violaron un sinnúmero de derechos de los agricultores, sus familias, los recursos naturales, animales, producto de esto, se dio el desplazamiento, abandono de tierras, cambios de labor, el agricultor busca mejores formas de vida, ya que el estado no fue un agente protector de sus derechos.

Con la implementación de este herbicida en Colombia, quien más se ha visto beneficiado es Estados Unidos, ya que Monsanto el productor del glifosato es de allá. Durante las aplicaciones la población campesina protestó, informó las evidentes fallas del herbicida, se enfermaron al igual que sus vacas, cerdos, sin embargo, el gobierno siguió con sus aplicaciones, en esos años.

Tratados

Según Parada Bernal, J. (2021), son varios los tratados que Colombia firmó y se comprometió a la conservación de los recursos naturales está el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Convenio Ramsar y el Tratado de Cooperación Amazónica.

La implementación del glifosato es una gran contradicción a estos compromisos, ya que afecta la flora y fauna, la diversidad natural, los recursos naturales, la calidad del medio ambiente desencadenando insostenibilidad, lo que a su vez afectará la calidad de vida de todos los seres vivos.

Marco teórico

Generalidades del Glifosato

El Glifosato es un herbicida, según Nivia, E. (2000), aunque es un ácido se usa como sal, la más utilizada, es la sal isapropilamina de glifosato, se le conoce con el nombre de Roundup. Así mismo y según Salazar-López, N. J., & Madrid, M. L. A. (2011), el glifosato penetra la planta en las hojas y circula por el tejido vegetal.

El glifosato no se utiliza solo, ya que para que sus compuestos hagan efectos se debe mezclar con otros ingredientes. Según Nivia, E. (2000), "se usa con un surfactante, para que pueda penetrar los tejidos de la planta y así este confiere características toxicológicas diferentes a la formulación comercial", son estas características las que hacen del glifosato un veneno para el suelo.

Modo de acción del Glifosato

Según Morrillo Zambrano, P. A. (2018), el mecanismo de acción del glifosato es la limitación sobre la actividad de las 5-enolpiruvil shikimato- 3 fosfato sintetasa, enzima responsable de la vía metabólica del shikimato, encargada de la biosíntesis de corismato, así como también de varios metabolitos aromáticos, lo cual da como resultado que no se realice la síntesis de aminoácidos aromáticos, reducción de síntesis de proteínas y otros, lo que desencadena finalmente en la muerte temprana de la planta.

Aminoácidos Afectados por el Glifosato

Según Nissen, S., Namuth, D., & Hernández-Ríos, I. (2019), la fenilalanina, tirosina y triptófano son los aminoácidos aromáticos responsables de la realización de la síntesis de la enzima 5-enilpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa conocida como EPSP o EPSPS. Esta tiene un papel necesario en la ruta metabólica shikimato, encargada de producir aromáticos como lo son las ligninas, alcaloides, flavonoides, ácidos benzoicos, fitohormonas, así como aminoácidos requeridos en las síntesis de proteínas.

Importancia de la ruta metabólica shikimato para vida de las plantas

Según lo indicado por Pérez González, E. (2014), quien a su vez cita a. (Eberhard, y col.,1996; Roberts y col.,2002), y (Vogt, 2010), la ruta metabólica del shikimato en las plantas opera en el citosol y en los plastidios, tiene funciones vitales para la planta, ya que sintetiza proteínas, necesarias para una variedad de metabolitos secundarios, con funciones como la pigmentación de las plantas, inducción de crecimiento, defensa, protección de la luz UV, lignificación de tejidos y formación de fitohormonas.

Permanencia del Glifosato en los Suelos

Quintero, J. M. J. (2020), indica que, aunque el glifosato es absorbido rápidamente en el suelo es “casi inmóvil” por lo cual queda en la parte de arriba de este y puede estar entre 200 y 300 días, si no lo absorbe el subsuelo, dependerá del tipo de suelo la durabilidad de este.

Afectación del Glifosato en la Salud de los Seres Humanos

Según Quintero, J. M. J. (2020), se han hallado investigaciones donde se ha evidenciado que el glifosato se ha clasificado como “probablemente cancerígeno en humanos”. Es decir, que hay una alta posibilidad que parte de la población colombiana que ha manipulado o de alguna forma ha estado expuesto a este herbicida presente enfermedades terminales.

Así mismo Nivia, E. (2000), aunque en Colombia este herbicida está clasificado como levemente toxico, en otros países como Estados Unidos se han reclasificado como altamente tóxicos, se debe considerar que “el ingrediente activo está clasificado en categoría I, altamente tóxico”.

Afectación del Glifosato en la Salud de Animales

Nivia, E. (2000), de acuerdo con una serie de investigaciones ha detallado la huella negativa, destacando pruebas en ratas y conejos, ahí se han evidenciado daños en sus sistemas reproductivos, provocando en los machos tumores en sus testículos, así como disminución en la calidad de su semen, en hembras cáncer, tiroides, alteraciones en sus órganos, tales como el hígado, vejiga y páncreas.

Varias especies de peces, por ejemplo, trucha arco iris y la tilapia, presentan variadas susceptibilidades dependiendo si es Roundup o glifosato, así mismo existen otros factores como la calidad del agua, edad, nutrición y temperatura, sin embargo, Roundup es 30 veces más toxico que el glifosato.

Así mismo González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. (2022), indicó que el glifosato causó reducción de la tasa de reproducción de dos especies de lombrices (*Lumbricus terrestres* y *Aporrectodea caliginosa*) y alteración de las actividades metabólicas esenciales de las lombrices de tierra.

Las abejas son seres vitales para la vida de todos los seres vivos, debido a que estas contribuyen con la polinización de los cultivos, lo que ayuda a obtener más y mejores productos agrícolas, así mismo, brindan una serie de productos tales como la miel, polen, apitoxina, entre otros. Debido al uso intensivo de glifosato en los cultivos se ha producido envenenamiento y muerte de una gran cantidad de estas, lo que ha producido reducción en cantidad y calidad de los cultivos a nivel mundial.

Según González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. (2022), la muerte de una gran cantidad de abejas ha provocado que los agricultores de EUA hayan perdido aproximadamente 200 millones de dólares, debido a la disminución de polinización de los cultivos. Para mencionar algunas de las afectaciones que causa el glifosato en las abejas, tenemos a López-Castaños, K. A., Méndez-Albores, A., & Tamariz-Flores, J. V. (2023), quien indica que el glifosato interfiere en el libre desarrollo de las abejas al interferir en sus fases y funciones, ya que limita la ganancia de peso en la fase larval, supervivencia de las crías, desarrollo, reproducción, navegación, percepción gustativa, microbiota intestinal, susceptibilidad a patógenos, pérdida de olfato, desnutrición, reducción de capacidad para aprender.

Afectación del Glifosato en el Putumayo

El departamento del Putumayo tiene una extensión de 24.885 km², está situado en el suroeste de Colombia, en una parte de la región amazónica, es de vital importancia, ya que presenta una gran variedad de biodiversidad, flora y fauna, se considera parte del pulmón del mundo, debido a la importancia de su selva amazónica.

En cuanto a su economía, según lo indicado por Guzmán, M. F. S., Ruiz, D. D. P., & Lenis, M. V. (2019), el departamento del Putumayo tiene su actividad económica en el sector agropecuario, explotación de hidrocarburos, así mismo presenta un aporte pequeño en la industria. Cabe destacar que, aunque hay una gran cantidad de suelo disponible para la agricultura, culturalmente no es común hallar grandes extensiones de suelo dedicado a la producción de alimento, debido a lo poco gratificante económicamente, si lo comparamos con el cultivo ilegal de coca, el cultivo de alimentos, es realizado por los pequeños productores, los cuales cultivan en su mayoría, cacao, yuca, plátano, mandarina, limón, naranja, aguacate, pimienta, piña, chontaduro, entre otros, varios practican el monocultivo, dedicándose así al producto que da más dinero, pocos tienen variedades de cultivos.

Es otra la situación de la ganadería, a la cual se destinan grandes extensiones de suelo para su producción y por lo general son multipropósito, sin embargo, no se consideran las afectaciones que estas producen al suelo; mencionando algunas tenemos la compactación, desertificación, pérdida de propiedades físicas y químicas para la agricultura.

Al presentar suelos afectados con glifosato se está amenazando una de sus principales actividades económicas, así como la seguridad alimentaria, estabilidad ambiental y bienestar en general.

El Putumayo presenta dos divisiones de acuerdo con sus dos climas más representativos, clima frío y clima cálido, así mismo, por su ubicación, alto y bajo. Para efecto de la investigación se enunciará el bajo Putumayo el cual presenta clima cálido.

Según Burbano, L. L. (1985), el bajo Putumayo está ubicado en el extremo, sur- central de Colombia, con altitud entre 200 y 800 msnm, presenta piso térmico caliente, con temperaturas que oscilan entre 25 y 28 °C, su precipitación media anual es de 4.212 mm, su humedad relativa es del 76%, con un trópico húmedo, suelos ácidos, fértiles, con texturas franco arcilloso, arenoso, bajo contenido de materia orgánica (apéndice E) producido por lluvias que llevan a la descomposición y lixiviación.

Lamentablemente, sus condiciones son favorables para el cultivo de coca, por tal motivo ha sido uno de los departamentos con mayor afectación por parte de las aspersiones con glifosato, realizadas por el gobierno colombiano, así como también por el uso descontrolado por parte de los agricultores.

Por tal motivo se plantea una opción para mejorar las condiciones del suelo, buscando así, reducir la contaminación de los recursos naturales, brindar herramientas sencillas al agricultor para que este pueda aplicarlas en sus espacios productivos.

Comercialización Mundial del Glifosato

Nivia, E. (2000), hace 24 años las ventas a nivel mundial llegaron a los 1.500 millones de dólares, representando así cerca del 40% del mercado de agroquímicos a nivel mundial de Monsanto y se calculaba que cinco años después serían de 2.000 millones, lo cual equivaldría a más de 40.000 toneladas de ingrediente activo en los suelos, que a su vez iría a las fuentes

hídricas, microorganismos tales como bacterias, algas, hongos, así como peces, entre otros seres vivos afectados, su fabricante básico Monsanto obtuvo miles de millones en ganancia por esto.

En la actualidad según la página *Glifosato Tamaño del mercado | Mordor intelligence*. (s. f.). <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/glyphosate-herbicide-market>.

En el 2024 se registran 9.14 billones de dólares en venta, para el año 2029 se pronostica llegará a 13.11 billones de dólares. El principal vendedor es Bayer. Las regiones que más compran glifosato son Asia, Pacífico y Estados Unidos.

Métodos

Metodología

Para esta investigación se empleó suelo agrícola de dos unidades productivas diferentes denominadas, El Bufe y La María, ubicadas en la localidad de El Cairo, municipio de La Hormiga, Putumayo: la finca El Bufe práctica la agricultura limpia y la finca La María con uso de agroquímicos.

Se llevó a cabo un diseño completamente al azar en cada lote del campo, donde se tomaron submuestras y se homogenizaron para tomar un kilo de suelo por cada tratamiento empleado, las características fisicoquímicas del suelo fueron determinadas por el laboratorio de Ciencias Básicas de La Angostura en dos fechas diferentes; antes de la aplicación el 26-06-24 y después de esta el 13-12-24.

La estimación de la población microbiana se determina por el método de diluciones seriadas, para el conteo se utilizó placas de Petri con agar nutritivo, a las cuales se les adicionó glifosato en dosis proporcionales a los tratamientos propuestos, correspondientes a 3.5 L/ha, 7 L/ha y 10 L/ha, y un testigo absoluto sin adición de glifosato. La siembra se realizó por triplicado en superficie, adicionando 1 ml de dilución de suelo 1×10^{-6} , se incubó por cuatro días a 28°C.

Las estimaciones cuantitativas de las unidades formadoras de colonias (UFC) que es una medida utilizada para estimar el número de células bacterianas o fúngicas viables por gramo de suelo, se calcularon realizando un conteo visual del número de colonias formadas en cada placa, tanto para hongos totales cultivables como para bacterias totales cultivables, se calcula el área de crecimiento en cada caja (apéndice A) con el programa imageJ (apéndice B).

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis inicial de t-studen para determinar la uniformidad en la distribución de los datos. Posteriormente, se procedió a realizar un Análisis de

Varianza (ANOVA) con valor $p < 0,05$ mediante el sistema Infostat ver. 2020., finalizando con una prueba de Tukey para cada una de las variables Unidades Formadoras de Colonias (UFC) y crecimiento de colonias.

Tipo de Estudio

Estudio experimental con tipo de investigación mixta.

Primer Análisis de Suelo

El primer análisis de suelo fue realizado el día 26- julio -2024.

Captura de Microorganismos

El 13 y 14 de julio de 2024 se realizó la siembra de las trampas (apéndice F) para la captura de microorganismos nativos, para ello, se cocinó arroz por diez minutos, posteriormente se empacó en frascos de vidrio y se taparon con una tela tipo toldillo. Se sembraron los frascos en ambas fincas por diez días.

Preparación de Fermento

Entre el 16-17 de julio 2024 se realizó la compra y la mezcla de 200 gramos de avena en polvo, 200 gramos frijol en polvo, 200 gramos levadura, 700 gramos de melaza, 700 gramos de suero de vaca, inicialmente en 6 litros de agua lluvia, después de la fermentación se completaron los 20 litros de contenido con agua lluvia.

Agregación de Microorganismos a Fermento

El día 24 de julio de 2024 se agregaron los microorganismos al fermento, este se tapó con una tela y se revolvió diariamente hasta el día 30 de julio, fecha en la que se realizó aplicación del fermento en ambas fincas. Se aplicaron 4 litros de fermento por 16 litros de agua, para un total 20 litros en bomba para 50M².

Repetición

El mismo procedimiento se realizó en el mes de septiembre del mismo año. Entre 15 -16 de septiembre compra de ingredientes y mezcla para fermento. El 17 de septiembre, instalación de trampas para captura de microorganismos. El 26 de septiembre agregación de microorganismos en fermento. El 8 de octubre aplicación de fermento en ambas fincas Se aplicaron 4 litros de fermento por 16 litros de agua, para un total 20 litros en bomba para 50M²

Segundo Análisis de Suelo

El segundo análisis de suelo fue realizado el día 13 de diciembre – 2024.

Resultados

Primer Resultado

Como resultado del análisis de suelo (apéndice E), se identificó que: la finca El Bufeo tiene Clase textural franco limo arcillosa (apéndice E), Materia Orgánica 2.85%, pH 5,2 y Fósforo disponible 18,8 mg/kg. La finca La María presenta Clase textural franco arenosa (apéndice E), Materia Orgánica 11.4%, pH 5,3 y Fósforo disponible 3,37 mg/kg.

El Bufeo presentó menor contenido de materia orgánica posiblemente debido a que ésta practica la agricultura intensiva, aunque practica la agricultura limpia, siendo la finca tan pequeña, se podría estar presentando la sobreexplotación de los recursos. De acuerdo con lo indicado por Cuadras-Berrelleza, et al. 2021. Quien cita a (Castillo et al. 2020), la actividad agrícola intensiva ha generado problemas en la calidad del suelo, éstos son los atributos que permiten al suelo ser fértil o no.

La finca La María no practica la agricultura intensiva, el espacio asignado para el estudio tiene un manejo familiar, no se usa maquinaria pesada y sus cosechas son sólo para consumo interno y no siempre se cosecha, muchas veces la cosecha queda como abono, motivo por el cual posiblemente brindó mejor contenido de materia orgánica en el análisis químico realizado.

Tabla 1*Comparación de variables fincas. Resultado I y II*

Variable	Finca 1. Bufo Muestreo 1	Finca 1. Bufo Muestreo 2	Finca 2. María Muestreo 1	Finca 2. María Muestreo 2
Materia Orgánica (MO)	2,85	3,9	11,4	14,4
Potencial de Hidrógeno (pH)	5,2	5,2	5,3	4,84
Fósforo (P)	18,8	13,6	3,37	3,46
Textura	Franco Limo arcillosa	Franco Limo arcillosa	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Espinosa-Alzate, J. A., León-Sicard, T. E., & Ríos-Osorio, L. A. (2015). Indica que los suelos inceptisoles del Valle del Guamuez, presentan mayor grosor, contenido de materia orgánica de moderados a altos, con colores oscuros, pardos, grisáceos. Según Castellanos González, L., Francisca González-Pedraza, A., & Capacho Mogollón, A. E. (2021). La textura influye sobre algunas propiedades del suelo, tales como humedad, densidad aparente, disponibilidad de nutrientes, procesos de mineralización, así como la humificación de materia orgánica del suelo. Los suelos francos son uniformes, retienen agua y puede circular el aire, lo que favorece el crecimiento de los cultivos. Es por ello por lo que se pueden cultivar una variedad de productos, son suelos favorables para la agricultura.

Es importante conocer la textura del suelo, estudios hechos por Lupi et al. (2015) con concentración de glifosato y AMPA a distintas profundidades en dos lotes agrícolas de textura

franco-arenosa y con similares contenidos de materia orgánica, observando que más del 90% de la dosis de glifosato aplicada quedó retenida en los primeros 10 cm del suelo, atribuyéndoselo a la ausencia de macroporos que permitan el flujo preferencial, sin embargo, estos autores remarcan la presencia de glifosato y AMPA hasta 35 cm de profundidad, lo que indica un posible riesgo de migración de dicho herbicida. Es por ello de vital importancia la presente investigación, ya que, con la implementación de biorremediación, se pretende reducir el contenido de glifosato y AMPA en nuestros suelos, esto permitirá reducir la contaminación lo que a su vez promoverá suelos más sanos y fértiles.

Segundo Resultado

Para las dos siembras realizadas en las cajas de Petri se observó crecimiento a las 24 horas de establecido el ensayo sólo en los testigos, a las 48 horas se presentó crecimiento de bacterias en el tratamiento de 3.5 L/ ha para los dos tipos de suelos, y a las 72 horas se observó desarrollo de materias en los tratamientos de 7 L/ ha y 10 L/ ha, lo que nos indica que algunas bacterias fueron más tolerantes a la mezcla de herbicida con dosis comercial recomendada para pastos (3.5 L/ ha) y la dosis mayor empleada para la erradicación de cultivos ilícitos (10 L/ ha). Dentro de las cepas identificadas se encontraron bacterianas Gram positivas, con el género *Bacillus* sp (apéndice D).

El análisis estadístico permitió identificar en el ensayo uno (Figura 1) que hay diferencia significativa entre el tratamiento 7 L/ha frente a los demás tratamientos. Pero en el análisis del ensayo dos (Figura 2) no se presenta diferencia significativa; esto se podría deber a la dinámica

del suelo y el comportamiento de los microorganismos, aunque no es concluyente en ensayo, si se ratifica la influencia del glifosato en el desarrollo de los microorganismos.

Figura 1

Área de crecimiento en (9 cm²/72horas). Autores.

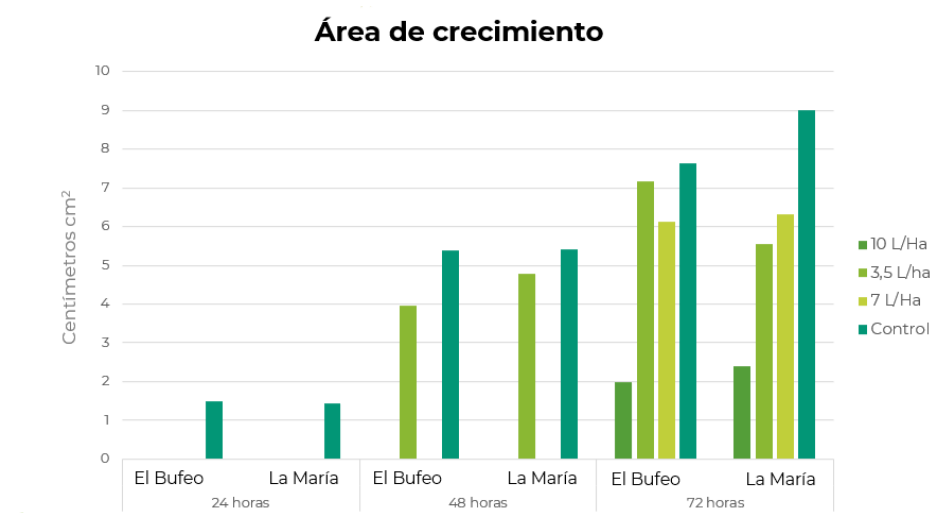
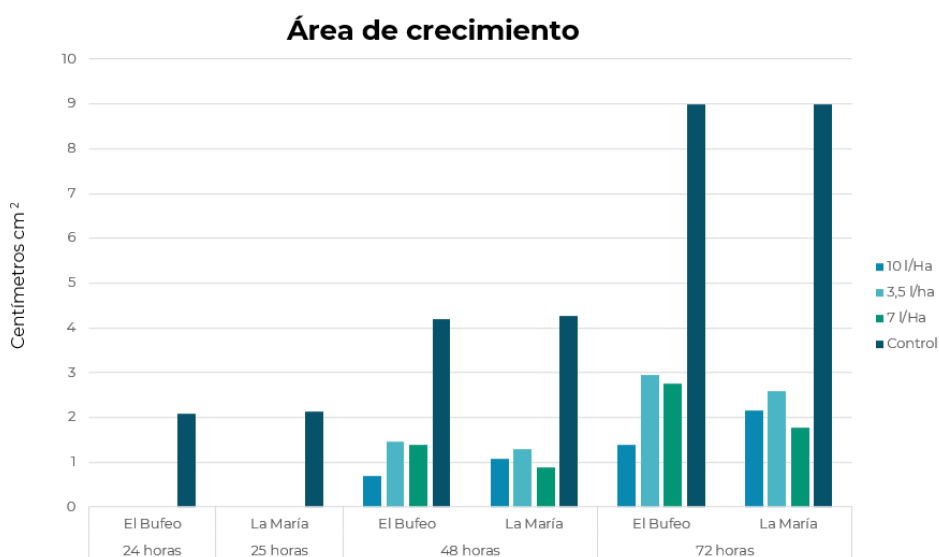


Figura2

Área de crecimiento en (9 cm²/72horas). Replica ensayo 1. Autores.



Son los microorganismos (bacterias) (apéndice 3) del suelo los que llevan a cabo la degradación de la molécula de glifosato su metabolito ácido aminometilfosfónico (AMPA), que también posee características tóxicas, esta degradación es relativamente rápida en los suelos y cerca de un 50% del glifosato se metaboliza entre 9 a 32 días en suelos limosos y arcillosos, respectivamente, sin embargo, se han detectado trazas de AMPA y de glifosato hasta 21 meses después de su aplicación (Muñoz F.R. 2021).

Al implementar la bioaumentación se pretende aumentar la población de bacterias, que ayudan a minimizar la afectación de glifosato y AMPA al utilizarlos como fuente de alimento. Tal como lo indica Noachas Asaf, E. (2022), los GDM digieren el glifosato como fuente de P por dos vías principales en las que lo degradan. En la primera convierten el glifosato en ácido aminometilfosfónico AMPA glioxilato, la segunda vía es la sarcosina. El mismo autor indica (AMPA puede metabolizarse por tres rutas, la primera es la liberación de AMPA al ambiente, la segunda es la metabolización del AMPA por la C-P liasa, formando metilamina y fosfato y en la tercera AMPA ingresa por la vía fosfatasa ahí la transaminasa lo cambia a fosfonoformaldehído, el cual se degrada en formaldehído y fosfato, el glioxilato, se transforma en glicina o entra en el ciclo ácido tricarbóxico u otras rutas metabólicas). En cuanto a la vía sarcosina (por medio de la enzima C-P liasa es catabolizado el glifosato convirtiéndolo en sarcosina y fosfato P, la acción de la sarcosina oxidasa permite la formación de glicina). Así mismo indica es especial esta vía ya que genera la glicina y sarcocina sienten estos menos tóxicos y más fáciles de degradar que el AMPA.

Valencia-Marín, M. F., Chávez-Ávila, S., Guzmán-Guzmán, P., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., de Los Santos-Villalobos, S., Glick, B. R., & Santoyo, G. (2024), quien a su vez cita a (Fira et al., 2018), (el género *bacillus* (apéndice 4), son bacterias Gram positivas

pertenecientes al filo Firmicutes, son aeróbicas o anaeróbicas facultativas catalasas positivas). El mismo autor citando a (Miljaković et al., 2020), (pueden habitar ambientes como el suelo, agua aire y ambientes extremos, si presentan esporas, éstas las hacen tolerantes a ambientes adversos). De acuerdo con lo anterior los *bacillus* presentan la capacidad de habitar diferentes hábitats, condiciones y ambientes razón por la cual se hallan en nuestra zona de investigación, la cual presenta fuertes soles con altas temperaturas, fuertes lluvias, fuertes sequías en algunos meses del año, y gran porcentaje de humedad.

Pérez-García, A., Romero, D., & De Vicente, A. (2011), por medio de la biofertilización los *bacillus amyloliquefaciens*, promueven la salud y estimulan la nutrición y crecimiento de las plantas, ya que aumentan y mejoran la biodisponibilidad de los nutrientes minerales convirtiendo el fósforo inorgánico almacenado, por medio de la producción de fitasas extracelulares, las cuales son fosfatasas especiales, que catalizan hidrólisis secuencial de fitato y fosfato inorgánico a derivados de mionositol menos fosforilados. Se evidencia la capacidad de los *bacillus* para ayudar a mejorar las condiciones del suelo promoviendo la nutrición y el crecimiento de las plantas, así mismo se confirman beneficios de la biorremediación.

Como resultado del segundo análisis de suelo (apéndice19) se identificó que: la finca El Bufe tiene Carbono orgánico 2.32, Potasio cambiante 0.97, Calcio cambiante 1.98, Magnesio cambiante 0.28 Clase textural Franca, pH 5,2 y Fósforo cambiante 13,6 mg/kg.

La finca La María presentó Carbono orgánico 8.43, Potasio cambiante de 1.11, Calcio cambiante 3.11, magnesio cambiante 0.82, clase textural arenoso, pH 4.84 y Fósforo cambiante 3,46 mg/kg.

Según Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008), el Carbono orgánico del suelo (COS), está relacionado con la sustentabilidad de los ecosistemas agrícolas, es decir, que influye de gran forma en la fertilidad de los suelos, ya que, de acuerdo con la capacidad de este, se tiene o no los requerimientos necesarios para la agricultura. Se puede decir que se mejoraron las propiedades del suelo al aumentar el contenido este nutriente. Con un incremento de 1.8 del valor de carbono orgánico, este incremento posiblemente provocó otros cambios tales como el de pH. Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008), indican (el N contenido en los materiales vegetales provoca un aumento de pH, producto de la formación de NH_4^+ que consume protones, posteriormente debido a la nitrificación del NH_4^+ en NO_3^- resultaría en una disminución del pH, provocado por la liberación de los protones a la solución del suelo). Esta sería la posible causa de la disminución del pH en la finca la María.

Se han realizado estudios de biorremediación de microorganismos degradadores de glifosato in vitro, es decir, bajo condiciones controladas, donde se reporta lo siguiente:

Noachas Asaf, E. (2022), quien a su vez cita a Yu et al, indica (se realizó la evaluación de la cepa *Bacillus subtilis* Bs-15, dando como resultado que esta promueve el crecimiento vegetal, tolera 10g/L de glifosato, en condiciones de fermentación redujo en un 65%, así mismo indicaron la mencionada cepa puede degradar el glifosato en el suelo de 17-19% a las 12 horas y de 67-71% después de 96 horas). El mismo, Noachas Asaf, E. (2022), citando a Fant et al. Indicó, (la bacteria *Bacillus cereus* demostraron en condiciones in vitro capacidad de degradar glifosato, ya que creció en medio MSM y metabolizó 94.5% del herbicida).

Con la realización de la presente investigación se logra evidenciar la factibilidad de la biorremediación, ya que presenta opciones implementables en todos los lugares de contaminación, suelo, agua y aire, es sostenible ya que no genera huella negativa, es económica,

así mismo, se puede observar que la implementación de ésta no es compleja, al contrario, es fácilmente implementable, lo que la convierte en una herramienta muy útil, para mejorar la salud de los suelos de todo el país, se ha evidenciado que se requiere aumentar la población de macro y micro flora y fauna de nuestros suelos, estos seres diminutos realizan una labor fundamental, ya que son quienes descomponen contaminantes, así como también metabolizan los nutrientes para que las plantas los puedan ingerir, permitiendo a la planta vivir, protegerse de plagas y enfermedades y finalmente dar frutos, nuestros alimentos, los que requerimos para la vida de todos los seres vivos, para lograr seguridad alimentaria, estabilidad laboral, progreso social, económico, mejorar la calidad de vida de nuestros agricultores y sus familias.

Para concluir, la agricultura se puede realizar de muchas formas, sin embargo, entre menos químico agreguemos a nuestros suelos, más sanos estarán, hay muchas opciones amigables con la actividad para mejorar la fertilidad de los suelos, reducir la contaminación, mencionando algunas tenemos dejar arvenses en el suelo cuando se cortan, no erradicar la totalidad de los arvenses, validar si es un arvense benéfico o no y de acuerdo a esto limitar su permanencia, generación de compost por medio de los desperdicios, esto devuelve algunos recursos al suelo, criadero de lombrices, estas producen suelos más ricos, cosechar agua lluvia, implementación de las buenas prácticas agrícolas (BPA), es deber de todos, el cuidado de nuestros recursos, de ello dependerá la permanencia en el futuro.

Conclusiones

Se evaluó el efecto de tres concentraciones de glifosato (3.5, 7 y 10 L/Ha) sobre el crecimiento de microorganismos en suelos de dos localidades (El Bufe y La María), durante un periodo de 72 horas. Como referencia, se incluyó un tratamiento control (sin glifosato). El crecimiento fue medido en términos de área (cm^2) cada 24 horas. El ensayo fue repetido bajo las mismas condiciones para validar los resultados.

En ambas repeticiones del ensayo, se observó un patrón consistente de inhibición del crecimiento microbiano en presencia de glifosato. A las 24 horas, los tratamientos con glifosato no presentaron crecimiento detectable, mientras que el tratamiento control mostró un área de crecimiento promedio de 2.1 cm^2 en ambas localidades. Esto sugiere un efecto tóxico inmediato del herbicida sobre los microorganismos del suelo.

A las 48 horas, comenzó a observarse una recuperación parcial del crecimiento microbiano, especialmente en las concentraciones más bajas (3.5 y 7 L/Ha). En El Bufe, el crecimiento alcanzó aproximadamente 4.1 cm^2 en el control, y entre 1.5 y 2.5 cm^2 en los tratamientos con glifosato. En La María, los valores fueron ligeramente menores, aunque el patrón de inhibición se mantuvo.

Finalmente, a las 72 horas, todos los tratamientos mostraron crecimiento microbiano, pero el grupo control presentó un área máxima cercana a los 9.5 cm^2 , tanto en El Bufe como en La María. Las concentraciones de 3.5 y 7 L/Ha permitieron un crecimiento intermedio (≈ 3 – 3.5 cm^2), mientras que el tratamiento con 10 L/Ha presentó los valores más bajos (≈ 2.2 – 2.8 cm^2).

Discusión

Los resultados indican que el glifosato ejerce un efecto dosis-dependiente sobre la actividad microbiana del suelo, con inhibición significativa del crecimiento en todas las concentraciones evaluadas. Si bien se evidenció una ligera recuperación a las 72 horas, posiblemente relacionada con procesos de adaptación microbiana, el crecimiento nunca igualó al del tratamiento control.

Además, se observó una ligera variación en la sensibilidad microbiana entre localidades, siendo La María, en general, más sensible al efecto del glifosato durante las primeras 48 horas. No obstante, la consistencia en la tendencia entre ambos ensayos respalda la reproducibilidad y confiabilidad de los datos obtenidos.

Estos hallazgos resaltan el potencial impacto negativo del glifosato sobre los microorganismos del suelo, lo cual podría afectar indirectamente procesos clave como la descomposición de materia orgánica, la fijación biológica de nitrógeno y la disponibilidad de nutrientes, comprometiendo la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

El control siempre presenta el mayor crecimiento en ambos ensayos.

El patrón dosis-dependiente se repite en ambos ensayos: a mayor concentración, menor crecimiento, por tanto, en esta investigación podemos concluir que el impacto de la aplicación de glifosato sobre microorganismos del suelo como hongos y bacterias benéficas, los cuales presentaron un menor crecimiento que demuestra un efecto negativo general del glifosato en las comunidades de hongos del suelo.

Los bacillus (apéndice 4) son bacterias que presentan capacidad de mejorar las condiciones del suelo, se pueden hallar en suelo, agua y ambientes extremos si presentan

esporas, tienen la capacidad de reducir la contaminación, así como aumentar la disponibilidad de nutrientes y promover el crecimiento de la planta.

La implementación de la biorremediación es una muy buena opción para reducir la contaminación de nuestros recursos naturales es sostenible, económica, ayuda a promover la micro y macro biota del suelo, se puede implementar en el sitio de la contaminación, fuera de él, en suelos, también en aguas por medio de algas.

Recomendaciones

Siendo los microorganismos tan importantes para la agricultura, se debe realizar mayor investigación donde se analicen estos, no sólo en laboratorio, sino que se deben analizar en sus hábitats, someter a diferentes variables para con ello poseer más información sobre su modo de acción, para así implementarlos de mejor forma.

De acuerdo con los hallazgos, la vía sarcosina por medio de la enzima C-P liasa cataboliza el glifosato convirtiéndolo en sarcosina y fosfato P, la acción de la sarcosina oxidasa permite la formación de glicina, razón por la cual se debe ahondar más en esta vía, realizar mayor investigación, experimentar con variedades de microorganismos y en diferentes condiciones, ya que genera la glicina y sarcosina siendo estos menos tóxicos y más fáciles de degradar que el AMPA.

El agricultor es protagonista en la labor agrícola, al ser uno de los agentes que utiliza el glifosato con mayor repetición, se debe incluir en labores de investigación, de esta forma se podría lograr un cambio de pensamiento, así como la implementación de técnicas más amigables para la conservación de los recursos naturales.

La biorremediación es una de las mejores técnicas para reducir la contaminación del medio ambiente, se ha evidenciado que nuestros suelos y fuentes hídricas están cargados de químicos dañinos para la salud, producto de la minería, ganadería agricultura e industria por ello es de vital importancia su implementación, de esta forma se podría reducir la afectación de nuestros recursos.

Se debe identificar la bacteria que brindó los resultados ofrecidos, lo cual no se realizó por el factor tiempo y presupuesto.

Referencias Bibliográficas

- Burbano, L. L. (1985). Variabilidad de algunas propiedades suelos del Putumayo, C Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 9(1 y 2).
- Castellanos González, L., Francisca González-Pedraza, A., & Capacho Mogollón, A. E. (2021). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander. *Inge-Cuc*, 17(1), 69–80. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06>.
- Cuadras-Berrelleza, A. A., Peinado-Guevara, V. M., Peinado-Guevara, H. J., López-López, J. D. J., & Herrera-Barrientos, J. (2021). Agricultura intensiva y calidad de suelos: retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1401-1414.
- Espinosa-Alzate, J. A., León-Sicard, T. E., & Ríos-Osorio, L. A. (2015). Tipología y usos del suelo en agroecosistemas del Valle del Guamuez, Putumayo–Colombia. *Sociedade & Naturaleza*, 27, 255-265.
- González Ortega, E., & Fuentes Ponce, M. H. (2022). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en el microbiota. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38.

Guzmán, M. F. S., Ruiz, D. D. P., & Lenis, M. V. (2019). Comportamiento del indicador de desempeño y la importancia económica en la categorización de los municipios en el departamento del Putumayo (Colombia). *Prospectiva*, 17(1), 51-61.

López-Castaños, K. A., Méndez-Albores, A., & Tamariz-Flores, J. V. (2023). COMPLEJIDAD EN ESTUDIOS AMBIENTALES: CASO GLIFOSATO-ABEJA. *RD-ICUAP*, 65-76

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

Martínez, S. L. G., & Ospina, J. E. A. (2015). Afectaciones en la salud pública inducidas por el uso de glifosato en el Putumayo, Colombia. *El Centauro*, 10, 29-38.

Montaluisa Álvarez, M. B., & Rojas Chávez, E. A. (2019). *Análisis de la capacidad de biodegradación de glifosato a partir de microorganismos aislados del suelo* (Bachelor's thesis).

Montenegro, S. P., Pulido, S. Y., & Vallejo, L. F. C. (2021). Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. *Notas de Campus*.

Mordor Intelligence (SF) Tamaño del mercado del glifosato y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029).

<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/glyphosate-herbicide-market>.

Morrillo Zambrano, P. A. (2018). *Caracterización de consorcios microbianos con capacidad biorremediadora de pesticidas piretroides (Cipermetrina), organofosforados (Clorpurifos) y N-(fosfonometil) glicina (GLIFOSATO)* (Master's thesis, Quevedo: UTEQ).

Nivia, E. (2000). Efectos sobre la salud y el ambiente de herbicidas que contienen glifosato. *Recuperado de [http://www.glifocidio.org/docs/impactos% 20generales/igl.pdf](http://www.glifocidio.org/docs/impactos%20generales/igl.pdf)*.

Nissen, S., Namuth, D., & Hernández-Ríos, I. (2019). Inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos.

Noachas Asaf, E. (2022). Evaluación de bacterias con potencial aplicación en biorremediación de glifosato.

Ostera, J. M., Malanga, G. F., & Puntarulo, S. Á. (2016). Actualización sobre aspectos oxidativos del efecto del glifosato en sistemas biológicos.

Parada Bernal, J. (2021). Aspersiones aéreas de glifosato en el putumayo: una política antidrogas contradictoria con las fuentes del derecho internacional.

Pérez-García, A., Romero, D., & De Vicente, A. (2011). Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture. *Current opinion in biotechnology*, 22(2), 187-193.

Pérez González, E. (2014). Estudio de la ruta de shikimato en *Trichoderma parareesei*, su papel en el antagonismo del hongo y en las relaciones que establece con la planta.

Quintero, J. M. J. (2020). Usos y efectos del glifosato en Colombia. *Boletín Informativo CEI*, 7(1),

Reyes-Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64.

Salazar-López, N. J., & Madrid, M. L. A. (2011). Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *BIOtecnia*, 13(2), 23-28.

Valencia-Marín, M. F., Chávez-Ávila, S., Guzmán-Guzmán, P., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., de Los Santos-Villalobos, S., Glick, B. R., & Santoyo, G. (2024). Survival strategies of *Bacillus* spp. in saline soils: Key factors to promote plant growth and health. *Biotechnology Advances*, 70, 108303.

Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad: AE496, 1/2013. *Edis*, 2013(2)

Apéndices

Apéndice A

Primeros resultados laboratorio finca El Bufe y la María



INFORME DE RESULTADOS
LABORATORIO DE CIENCIAS BÁSICAS
CENTRO DE FORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Versión 5
Código: F-CLB-01
Página 1 de 2
Informe número: 036-2024



INFORME DE RESULTADOS
LABORATORIO DE CIENCIAS BÁSICAS
CENTRO DE FORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Versión:
Código: F-CLB-01
Página 1 de
Informe número: 036-2024

Código interno ítem de ensayo:		Informe número:		Fecha emisión del Informe:	
036-5-2024		037-2024		2024-06-26	
DATOS DEL CLIENTE		INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
NT/CC:	1.032.384.870	Lugar de muestreo:	No reportado		
Solicitante:	Claudia Parra Cortes	Matriz:	Suelo		
Contacto:	Claudia Parra Cortes	Descripción:	EL BUFE ALTO BASTIDAS		
Teléfono:	3188645205	Fecha de muestreo:	No reportado		
C correo electrónico:	cparraco@unaf.edu.ec	Fecha recepción:	2024-06-18		
RESULTADOS					
ENSAYO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS (mes-año-día)	TÉCNICA	DOCUMENTO NORMATIVO
Determinación de Humedad	7,15 ± 0,15	g/100g (% en masa)	2024-06-25	Gravimétrico	NTC 6230:2017
Determinación de pH	5,2 ± 0,11	Unidades de pH	2024-06-20	Potenciométrica relación 1:1 suelo-agua	NTC 5264:2018
Determinación de Ácidos Intercambiable	1,51 ± 0,09	cmol(+)/kg	2024-06-25	Volumétrico	NTC 5363:2017
Determinación de Capacidad de intercambio catiónico	10,7 ± 0,80	cmol(+)/kg	2024-06-24	Volumétrico	NTC 5268:2014
Determinación de Carbono orgánico total	1,40 ± 0,16	g COT/100 g suelo (% en masa)	2024-06-21	Volumétrico	NTC 5403:2021 Método B
Determinación de Materia Orgánica*	2,85	g MO/100 g suelo (% en masa)	2024-06-21	Relación matemática	NTC 5403:2021
Determinación de Sodio cambiante*	0,017	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Potasio cambiante*	0,363	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Calcio cambiante*	0,35	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Magnesio cambiante*	0,16	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Fósforo disponible*	38,8	mg/kg	2024-06-24	Fotométrico	NTC 5350:2020 Bray II
Determinación de Textura (Arena)*	85,8	%	2024-06-21	Neoyucos	NTC 6299:2018
Determinación de Textura (Arcilla)*	2,91	%	2024-06-21	Neoyucos	NTC 6299:2018
Determinación de Textura (Limo)*	11,7	%	2024-06-21	Neoyucos	NTC 6299:2018
Clase textural*	Franco arenoso	Adimensional	2024-06-21	Relación matemática	NTC 6299:2018

Código interno ítem de ensayo:		Informe número:		Fecha emisión del Informe:	
036-5-2024		036-2024		2024-06-26	
DATOS DEL CLIENTE		INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
NT/CC:	1.032.384.870	Lugar de muestreo:	No reportado		
Solicitante:	Claudia Parra Cortes	Matriz:	Suelo		
Contacto:	Claudia Parra Cortes	Descripción:	FINCA LA MARÍA JOSÉ BASTIDAS		
Teléfono:	3188645205	Fecha de muestreo:	No reportado		
C correo electrónico:	cparraco@unaf.edu.ec	Fecha recepción:	2024-06-13		
RESULTADOS					
ENSAYO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS (mes-año-día)	TÉCNICA	DOCUMENTO NORMATIVO
Determinación de Humedad	8,15 ± 0,17	g/100g (% en masa)	2024-06-25	Gravimétrico	NTC 6230:2017
Determinación de pH	5,3 ± 0,11	Unidades de pH	2024-06-20	Potenciométrica relación 1:1 suelo-agua	NTC 5264:2018
Determinación de Ácidos Intercambiable	0,58 ± 0,017	cmol(+)/kg	2024-06-25	Volumétrico	NTC 5363:2017
Determinación de Capacidad de intercambio catiónico	> 19,5	cmol(+)/kg	2024-06-24	Volumétrico	NTC 5268:2014
Determinación de Carbono orgánico total	6,60 ± 0,64	g COT/100 g suelo (% en masa)	2024-06-21	Volumétrico	NTC 5403:2021 Método B
Determinación de Materia Orgánica*	13,4	g MO/100 g suelo (% en masa)	2024-06-21	Relación matemática	NTC 5403:2021
Determinación de Sodio cambiante*	0,016	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Potasio cambiante*	0,31	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Calcio cambiante*	1,56	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Magnesio cambiante*	0,66	cmol(+)/kg	2024-06-25	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349:2016
Determinación de Fósforo disponible*	3,37	mg/kg	2024-06-24	Fotométrico	NTC 5350:2020 Bray II
Determinación de Textura (Arena)*	93,5	%	2024-06-21	Neoyucos	NTC 6299:2018
Determinación de Textura (Arcilla)*	0,00	%	2024-06-21	Neoyucos	NTC 6299:2018
Determinación de Textura (Limo)*	6,50	%	2024-06-21	Neoyucos	NTC 6299:2018
Clase textural*	Areña	Adimensional	2024-06-21	Relación matemática	NTC 6299:2018

Apéndice B

Segundos resultados laboratorio finca La María y el Bufo



INFORME DE RESULTADOS
LABORATORIO DE CIENCIAS BÁSICAS
CENTRO DE FORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Versión: 5
Código: F-LCB-001
Página: 1 de 1
Informe número: 333-2024



INFORME DE RESULTADOS
LABORATORIO DE CIENCIAS BÁSICAS
CENTRO DE FORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Versión: 5
Código: F-LCB-001
Página: 1 de 2
Informe número: 334-2024

DATOS DEL CLIENTE		INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
NTFC:	1.012.394.870	Lugar de muestreo:	NO REPORTADO
Solicitante:	CLAUDIA PARRA CORTES	Motivo:	SUELO
Contacto:	CLAUDIA PARRA CORTES	Descripción:	FINCA LA MARÍA
Teléfono:	3138440105	Fecha de muestreo:	NO REPORTADO
Correo electrónico:	cparrac@onac.edu.ec	Fecha recepción:	2024-11-22

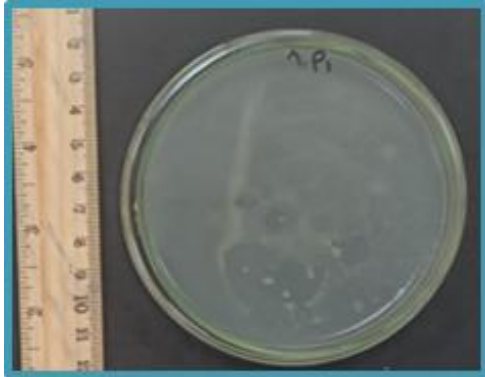
RESULTADOS					
ENSAYO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS (MES/AÑO/HR)	TÉCNICA	DOCUMENTO NORMATIVO
Determinación de pH	4,84 ± 0,33	Unidades de pH	2024-11-27	Potenciométrica relación 1:1 suelo-agua	NTC 5204-2023
Determinación de Ácidos intercambiables	1,25 ± 0,04	cmol(-)/kg	2024-11-28	Volumétrico	NTC 5263-2023
Determinación de Capacidad de Intercambio catiónico	+19,5	cmol(-)/kg	2024-12-06	Volumétrico	NTC 5268-2024
Determinación de Carbono orgánico total	6,43 ± 0,65	g COT/100 g suelo (% de masa)	2024-11-28	Volumétrico	NTC 5409-2023 Método B
Determinación de Sodio cambiante*	0,300	cmol(-)/kg	2024-12-02	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Potasio cambiante*	1,11	cmol(-)/kg	2024-12-02	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Calcio cambiante*	3,11	cmol(-)/kg	2024-11-28	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Magnesio cambiante*	0,62	cmol(-)/kg	2024-11-28	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Fósforo disponible*	1,46	mg/kg	2024-12-06	Fotométrico	NTC 5350-2020 Bray II
Determinación de Textura (Arena)*	72,2	%	2024-11-29	Boyuzoaz	NTC 4299-2018
Determinación de Textura (Arcilla)*	7,50	%	2024-11-29	Boyuzoaz	NTC 4299-2018
Determinación de Textura (Limo)*	20,3	%	2024-11-29	Boyuzoaz	NTC 4299-2018
Clase textural*	Francia Arenosa	Adimensional	2024-11-29	Relación matemática	NTC 4299-2018

DATOS DEL CLIENTE		INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
NTFC:	1.012.394.870	Lugar de muestreo:	NO REPORTADO
Solicitante:	CLAUDIA PARRA CORTES	Motivo:	SUELO
Contacto:	CLAUDIA PARRA CORTES	Descripción:	FINCA BUFO
Teléfono:	3138440105	Fecha de muestreo:	NO REPORTADO
Correo electrónico:	cparrac@onac.edu.ec	Fecha recepción:	2024-11-22

RESULTADOS					
ENSAYO	RESULTADO	UNIDAD	FECHA DE ANÁLISIS (MES/AÑO/HR)	TÉCNICA	DOCUMENTO NORMATIVO
Determinación de pH	5,20 ± 0,51	Unidades de pH	2024-11-27	Potenciométrica relación 1:1 suelo-agua	NTC 5204-2023
Determinación de Ácidos intercambiables	0,65 ± 0,01	cmol(-)/kg	2024-11-28	Volumétrico	NTC 5263-2023
Determinación de Capacidad de Intercambio catiónico	6,89 ± 0,67	cmol(-)/kg	2024-12-06	Volumétrico	NTC 5268-2024
Determinación de Carbono orgánico total	2,32 ± 0,18	g COT/100 g suelo (% de masa)	2024-11-28	Volumétrico	NTC 5409-2023 Método B
Determinación de Sodio cambiante*	0,070	cmol(-)/kg	2024-12-02	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Potasio cambiante*	0,97	cmol(-)/kg	2024-12-02	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Calcio cambiante*	1,98	cmol(-)/kg	2024-11-28	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Magnesio cambiante*	0,28	cmol(-)/kg	2024-11-28	Espectrometría de absorción atómica	NTC 5349-2016
Determinación de Fósforo disponible*	13,6	mg/kg	2024-12-06	Fotométrico	NTC 5350-2020 Bray II
Determinación de Textura (Arena)*	48,9	%	2024-11-29	Boyuzoaz	NTC 4299-2018
Determinación de Textura (Arcilla)*	12,0	%	2024-11-29	Boyuzoaz	NTC 4299-2018
Determinación de Textura (Limo)*	39,1	%	2024-11-29	Boyuzoaz	NTC 4299-2018
Clase textural*	Francia	Adimensional	2024-11-29	Relación matemática	NTC 4299-2018

Apéndice C

Ejemplo área de medición con el programa imagej



Apéndice D

Crecimiento de Bacillus en cultivo agar nutritivo



Apéndice E

Prueba textural en campo para las dos fincas



La María



El Bufe

Apéndice F

Trampas de arroz para la captura de microorganismos nativos



Apéndice G

Crecimiento microorganismos nativos



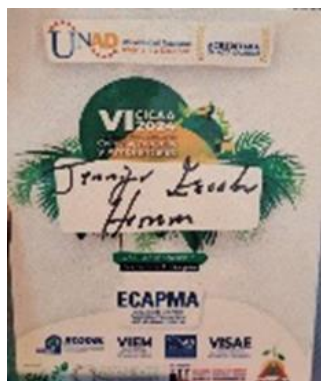
La María



El Bufe

Apéndice H

Participación y ponencia



Nota. Se pueden observar imágenes de la ponencia “Aislamiento de bacterias nativas del suelo con potencial para la degradación de glifosato” en el Congreso Internacional de Ciencias Agrarias y Ambientales. Modelos de producción sostenible y economía circular para comunidades resilientes. Medellín Antioquía 3-5 de septiembre 2024.