

EFFECTO DEL HERBICIDA PARAQUAT Y GLIFOSATO EN PROPIEDADES DEL SUELO QUE CONDICIONAN EL DESARROLLO DE BACTERIAS Y FUNGI

Nelino Florida¹, César López², Vicente Pocomucha³

Recepcionado: 02 de octubre de 2012.
2013.

Aceptado: 04 de noviembre de

Resumen

La investigación se desarrolló en la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María, a una altitud de 660 msnm, precipitación promedio anual de 3300 mm y temperatura media 25 °C. Se evaluó los efectos del herbicida paraquat y glifosato (HP y HG), en bacterias, fungi, y propiedades del suelo que condicionan su desarrollo, evaluándose el número de bacterias y fungi por gramo de suelo y propiedades físicas químicas (temperatura, pH y materia orgánica). El estudio consistió en la aplicación de diferentes concentraciones del HP y HG (0mL/L, 1mL/L, 2mL/L, 3mL/L y 4mL/L) y tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó el diseño bloque completamente al azar (DBCA), evaluando las variables con análisis de varianza, separación de medias según Duncan y análisis de regresión. Los resultados de 4 evaluaciones a intervalos de 3 meses mostraron efectos negativos del HP en el número de bacterias por gramo de suelos, pasando de 1298.4 - 1801.2x10³ a 91.5 - 520.1x10³ y efectos negativos en el número de fungi 108.28 - 221.90x10³ a 115.88 - 182.14x10³. El HP incremento la temperatura del suelo de 24.72 a 25.27°C, el pH de 5.81 a 5.97 y materia orgánica de 2.85 a 2.42%. Así mismo, el HG afecto negativamente el número de bacterias pasando de 276.0 - 1330.9 a 34.2 - 681.0x10³ y efectos positivos en el número de fungi 67.08-165.61 a 114.22 a 182.14x10³. El HG incremento la temperatura de 24.49 a 25.48°C, el pH de 5.38 a 5.69 y materia orgánica de 2.75 a 2.92%. Demostrando así que el HP y HG afecta el número de bacterias, fungi y propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de estos microorganismos.

Palabras clave: Paraquat, glifosato, bacterias, fungi, propiedades del suelo.

Abstract

This research was conducted at the Agraria de la Selva National University of Tingo Maria, Peru, at an altitude of 660 meters, average annual rainfall of 3300 mm and average temperature of 25 °C. Evaluated the effects of the herbicide Paraquat and Glyphosate (HP and HG) on the bacterial, fungal, and soil properties that influence the development of these microorganisms, evaluating the bacterial and fungal number per gram of soil and physical and chemical properties (temperature, pH, organic matter). The study consisted of applying different concentrations of HP and HG (0mL/L, 1mL/L, 2mL/L, 3mL/L and 4mL/L) and three replicates per treatment. Random complete block (RCBD) design was used for evaluate the variables with analysis of variance (ANVA), mean separation by Duncan and simple linear Regression Analysis. The results after 4 measurements at intervals of 3 months showed a negative effect on the bacterial number, from a range of 1298.4 - 1801.2 x10³ to 91.5 - 520.1 x10³, and negative effects on the fungal population from a range of 108.28 - 221.90 x10³ to 115.88 - 182.14 x10³. HP increased soil temperature from 24.72 to 25.27 °C. Soil pH also step 5.81 a 5.97 and organic matter from of 2.85 to 2.42 %. The like wise HG negatively affected bacterial number from a range of 276.0 - 1330.9 to 34.2 - 681.0 x10³ and positive effects on the fungal number from a range of 67.08-165.61 to 114.22 - 182.14 x10³. HG increased soil temperature from 24.49 to 25.48 °C. Soil pH also passed of 5.38 to 5.69 and organic matter from 2.75 to 2.92 %. Demonstrating that the HP and HG affect bacterial and fungal number and soil properties that influence the development of these organisms.

Key words: Paraquat, glyphosate, bacteria, fungi, soil properties.

¹ Tesista, Docente Asociado, Carrera profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua email: nelinof@hotmail.com

²Docente Principal, Carrera profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Av. Universitaria Km. 1.5 Tingo María-Perú.

³ Docente Asociado, Carrera profesional de Ingeniería Forestal, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Av. Universitaria Km. 1.5 Tingo María-Perú.

Introducción

En nuestro país desde la época denominada revolución verde (termino introducido por Norman Borlaug en 1968) han aplicado diferentes técnicas de manejo a las tierras con potencial agrícola y para facilitar el proceso de eliminación de malezas sintetizaron herbicidas muy eficientes como el HP y HG, herbicida de post emergencia clasificada como de contacto y sistémico, ampliamente utilizado por los agricultores de la zona del Alto Huallaga para el control de malezas en diferentes cultivos (maíz, frijol, plátano, coca, etc.).

Todos los pesticidas, incluido el HP y HG, por su naturaleza afectan a vegetales y a numerosos organismos que forman parte del suelo. En tal sentido la población microbiana es la principal afectada y teniendo en cuenta que la calidad de los suelos se debe en gran medida a su actividad, es evidente que la continua aplicación de estos herbicidas influirá en la población bacteriana y fúngica, así como en las propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de estos microorganismos.

En este sentido, evaluar los efectos del HP y HG sobre la población microbiana y las propiedades del suelo que condicionan su desarrollo, nos permitió encontrar la respuesta a los efectos de su aplicación sobre el desarrollo de bacterias y fungi de los suelos, en donde la aplicación continua afectan negativamente el desarrollo de estos microorganismos y las propiedades del suelo que condicionan la expresión de estos microorganismos.

El impacto del uso de agrotóxicos, se da especialmente sobre los microorganismos del suelo, esto merece atención, toda vez que los microorganismos desempeñan un papel preponderante en el reciclaje de nutrientes y estabilización de la materia orgánica del suelo y en los procesos de sucesión ecológica, a través de relaciones de antagonismo y/o sinergismo que resulta en un equilibrio dinámico entre las poblaciones microbianas (6).

Hay cambios en las propiedades del suelo producidos por herbicidas de post emergencia (HP y HG) en el control de plantas invasoras. Los valores de pH del suelo en los estratos de 0–0.15 y 0.15–0.30 m, se mantienen prácticamente inalterados. Entretanto, las diferencias se observan cuando se comparan entre los tratamientos, se encontró una influencia significativa, en los componentes de la acidez del suelo: pH, H^+ , Al^{3+} y saturación por Al^{3+} . La tendencia general revela que los herbicidas de post emergencia (HP y HG) se observa valores

medios entre los tratamientos. Sin embargo, entre los estratos los valores de pH son más elevados en el estrato superficial de suelo de 0–0.15 m (3). El incremento de pH es debido al aumento de materia orgánica; este efecto está relacionado al poder tampón de la materia orgánica, al aumento de la fuerza iónica de la solución del suelo y al aumento en los valores de algunos nutrientes en el estrato superficial como cationes de reacción básica y la consecuente reducción de componentes de la acidez (H^+ y saturación por Al^{3+}). Esto ha sido verificado por diferentes investigadores.

De acuerdo con el fabricante la formulación típica del glifosato de uso comercial, en su presentación de líquido soluble, corresponde al ingrediente activo glifosato, N-(fosfometil) glicina, en sal isopropilamina, 41%, además de inertes (Seboaminas etoxiladas) con 59% conocidos como surfactante (17).

Los HG tienen un amplio espectro de acción, usado en post emergencia para el control de vegetación, es altamente polar y muy soluble en agua e insoluble en la mayoría de los solventes orgánicos; siendo su principal metabolito el ácido amino metil fosfónico (AMPA). Este herbicida es uno de los más ampliamente usados en la actualidad y que además está considerado como relativamente sano debido a su rápida inactivación en el suelo cuya vida media es de 47 días (4).

Lo que no se reporta es si el HG afecta el pH del suelo y otras propiedades del mismo. Sin embargo, el HG presenta ionización del grupo amino a pH >2, del grupo amino y el hidrogenión libre de la fracción de ácido fosfónico a 2.6, del hidrógeno del grupo carboxilo a pH de 5.6 (15). En lo que aún no se han puesto de acuerdo muchos autores es en el papel que juegan otros componentes del suelo como la materia orgánica y la arcilla (4) en los procesos de retención, tan importantes en la adsorción de la mayoría de los plaguicidas en el suelo.

El glifosato es letal para las plantas y los microorganismos (principalmente bacterias) por inhibición de la actividad de la enzima enol piruvil shikimato- fosfato sintasa (EPSPS), la cual es constitutiva de los vegetales y las bacterias (15). Una vez que el herbicida es aplicado sobre las hojas de las plantas puede ser translocado para el interior de los nódulos, reduciendo la actividad de la enzima 5-enol-piruvil-shiquimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) en bacterias y en consecuencia en el proceso de fijación del nitrógeno.

El glifosato puede ser exudado en los ápices radiculares de las plantas y retornar en forma

disponible a la solución del suelo, de este modo, pueden afectar la actividad microbiana asociada a las raíces de las plantas (10). Por ello los glifosatos son clasificados como altamente tóxicos para los microorganismos del suelo y se ha demostrado el efecto inhibitorio in vitro del HG sobre microorganismos simbióticos del suelo. Investigaciones en la población de microorganismos de la rizosfera en soya con aplicación de HG, imazaquin y el trifluralin, muestran que el tratamiento con HG resulta en aumento continuo de valores medios en la biomasa microbiana del suelo (6).

Además, existen otros reportes en la que la aplicación de HG incrementa la población de microorganismos gracias a su capacidad para usar la molécula como fuente de C, N y P (6). Sin embargo, en esta investigación la mayoría de referencias contrastan con los resultados que se obtuvieron, un efecto negativo en la población bacteriana y solo en los fungi se observa tal efecto positivo.

HP es un herbicida post emergente, pertenece al grupo de los desestabilizadores de las membranas también conocidos como disruptores de las membranas, pueden ser de contacto o suelo activos, se caracterizan por tener rápida acción y en forma elemental se clasifican en inhibidores del foto sistema I, inhibidores de la enzima proporfirógeno oxidasa, inhibidores de la glutamina cintetaza. Los representantes más importantes son el Diquat y el Paraquat; son herbicidas de contacto, no selectivos, foliares y el sitio de acción es el cloroplasto. (9).

En las plantas el paraquat ejerce su actividad herbicida por interferir en el sistema intracelular de transferencia de electrones, inhibiendo la reducción del NADP a NADPH durante la fotosíntesis, cuando los radicales superóxido (O_2^-), singlete de oxígeno (O_2^*), hidroxilo (OH^*) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) son formados en las plantas. Este proceso lleva a la destrucción de los lípidos de las membranas celulares por la polimerización de compuestos lipídicos insaturados (2). Sabemos que el principal componente del paraquat es el cloro y que una vez aplicado es liberado, primero por su gran reactividad natural que posee y por la acción de los microorganismos, como el cloro, también el yodo o el ozono destruyen en forma permanente las células de las bacterias o parte de ellas, de modo que estas no pueden volver a reproducirse, estas sustancias actúan oxidando las enzimas y otros materiales del citoplasma de las células (8).

La actividad microbiana de los compuestos clorados depende de la cantidad de cloro que

haya disponible en forma de ácido hipocloroso no disociado (HClO) en el agua que se pone en contacto con las células microbianas. En solución acuosa el ácido hipocloroso se disocia en ión hipoclorito (ClO^-) e hidrógeno. Por lo tanto la presencia de ácido hipocloroso debe maximizarse frente a otras formas porque este ión es el responsable de la acción bactericida, cuando una solución clorada es puesta en contacto reaccionará con la materia orgánica (tal como el tejido vegetal, jugos celulares, partículas de suelo, microorganismos, etc.), combinándose con ella y dando productos derivados (8).

Existen investigaciones que demuestran el efecto tóxico de HP sobre microorganismos edáficos que realizan simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico en estirpes de *Rhizobium tropici* (BR 322 y BR 520), esto puede estar relacionada al mecanismo de acción en el cual hay una mayor captura de electrones provenientes de la respiración, formando radicales tóxicos inestables que rápidamente sufren una auto-oxidación (14).

La mayoría de suelos contiene entre 10^8 - 10^{10} microorganismos por gramo de suelo (11); las bacterias son los microorganismos más numerosos en los suelos que pueden llegar hasta 10^8 individuos por gramo y pueden estar representados por más de 10^4 especies diferentes (13).

Los fungi son los más numerosos después de las bacterias, se han hallado entre 20.000 a 1.000.000 de unidades fúngicas por gramo de suelo, pueden ser uní o pluricelulares y presentan una variedad morfológica extraordinaria, desde las levaduras, mohos a las clavarías, bejines o los conocidos carpóforos (setas) de diversos grupos taxonómicos. Producen antibióticos y pueden ser patógenos para los animales (1).

En general los factores del medio condicionan la existencia y distribución de los fungi debido a su heterotrofismo. Sin embargo, en los suelos ácidos hay predominancia de fungi, en suelos ácidos la mayor actividad es debida al *Penicillium* y *Trichoderma* y en los suelos neutros destacan *Stachybotrys*, *Botryotrichum* y *Micogone*; predominando en la superficie *Aspergillus* y *Trichoderma*, mientras que a 60 cm muestran preponderancia de *Penicillium*, *Mucor* y *Chlamidosporium* (13).

El suelo es el mayor componente de todo ecosistema terrestre y es el más básico de todos los recursos naturales, la vida en la tierra esta directa o indirectamente ligada al suelo (12). Las bacterias y fungi están influenciadas por diversos

factores que condicionan su desarrollo: El pH, afecta significativamente la actividad de bacterias y fungi, el crecimiento de la mayor parte de ellos es dentro de un intervalo de pH situado entre 6 y 8. Así mismo, cuando el pH llega a niveles menores de 5, la población bacteriana se ve seriamente afectada y son los fungi los que predominan. Además, que a pH bajos afecta la solubilidad del fósforo y otros nutrientes (1).

Las bacterias y fungi crecen a intervalos de temperatura bastante amplias, pero el óptimo está entre 15 y 45 °C (condiciones mesófilas), decreciendo por la desnaturalización de las enzimas a temperaturas superiores a 40 °C e inhibiéndose a inferiores a 0 °C. Presentan máximo desarrollo entre 25 y 35°C. La presencia de cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación global, no solo por efecto de la sombra que hace disminuir la radiación directa, también afecta al cambiar el albedo; el bosque es más eficaz que el césped, así en verano un suelo de un bosque puede llegar a estar 10 °C más frío que un suelo sin cubierta vegetal (7).

Asimismo, requieren unas condiciones mínimas de disponibilidad de oxígeno a pesar que la mayoría de microorganismos lo requiere, en el proceso de reducción de la molécula de agua o de otras sustancias capaces de formar el superóxido (O_2^-), el peróxido (H_2O_2) y el radical oxidrilo ($OH\cdot$) pueden resultar muy tóxicas para ellos y afectar principalmente las membranas celulares (11).

La materia orgánica está relacionada al suministro de elementos nutritivos por la mineralización, en particular, la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes disponible para las plantas (5), la descomposición de la materia orgánica produce CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} y es fuente de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas y microorganismos, además incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, reduce los efectos de compactación, contribuye a mejorar la estructura del suelo, aumenta la tasa de infiltración de agua y eleva la capacidad de los suelos a amortiguar los efectos nocivos de los herbicidas y otros biocidas. Además, de ser fuente de energía y nutrientes para los microorganismos del suelo (1).

Materiales y métodos

El lugar donde se instaló las parcelas está de acuerdo al ajuste estadístico (DBCR) y se tuvo en cuenta una extensión de 6 m² por cada tratamiento con características homogéneas para crear condiciones similares entre los tratamientos, en esta área existe una plantación de capirona

(*Calycophyllum spruceanum*) de unos 12 años de instalado con un dosel denso de plantas herbáceas como el maní forrajero (*Arachis pintoii*), matico (*Buddleja globosa*) kuzu (*Pueraria phaseoloides*). En ella no había un cultivo en particular solo se procedió a limpiar y delimitar de manera independiente tres bloques con sus respectivos tratamientos de los herbicidas paraquat y glifosato, haciendo un total de 30 unidades experimentales.

Una vez instaladas las parcelas se realizó el análisis inicial de propiedades físico químicas del suelo en el laboratorio de conservación de suelos y la enumeración de bacterias y fungi en el laboratorio de microbiología y biotecnología, ambos adscritos a la Facultad de Recursos Naturales Renovables. Para ello se extrajeron muestras de cada unidad experimental, luego se realizó la aplicación de los herbicidas paraquat y glifosato en forma independiente a concentraciones crecientes de 1 mL/L (T_1), 2 mL/L (T_2), 3 mL/L (T_3) y 4 mL/L (T_4) y con tres repeticiones por cada concentración, además de un testigo (T_0). Una vez aplicado los herbicidas se esperó 30 días para evaluar los efectos sobre propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de bacterias y fungi, realizándose tres aplicaciones a intervalos de tres meses cada una

Se realizó el análisis de los resultados obtenidos, para el cual, se utilizó el SPSS 19 para encontrar la regresión lineal simple entre las variables y su interpretación con las pruebas de Duncan.

Resultados

En la Figura 1 y 2, se muestran los efectos de la dosis del HG y HP en un incremento en la temperatura del suelo, éste puede ser beneficioso para los microorganismos (1). El aumento puede explicarse teniendo en cuenta que estos herbicidas tienen un amplio espectro de acción (4), por lo tanto, el suelo queda descubierto de vegetación luego de su aplicación y los rayos solares impactan directamente a la superficie. La temperatura no se elevó drásticamente, pues la presencia de una importante cubierta vegetal de capirona (*Calycophyllum spruceanum*) existente en el área disminuye la cantidad de radiación global, no solo por efecto de la sombra que hace disminuir la radiación directa, también afecta al cambiar el albedo (7).

Luego de la primera aplicación de los herbicidas se produjo la incorporación de residuos orgánicos y su descomposición genera reacciones exotérmicas, que pudo favorecer el incremento de la temperatura (15).

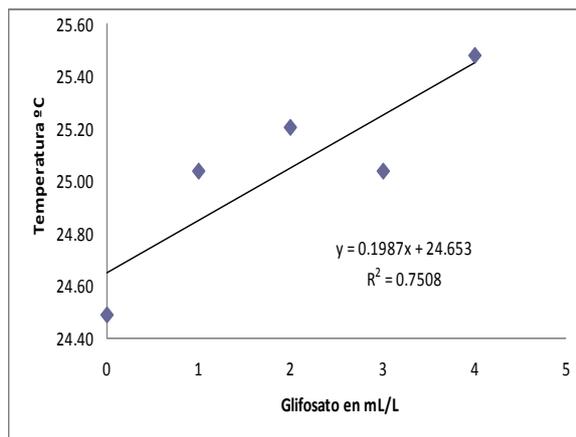


Figura 1. Regresión entre la concentración de glifosato y la temperatura del suelo

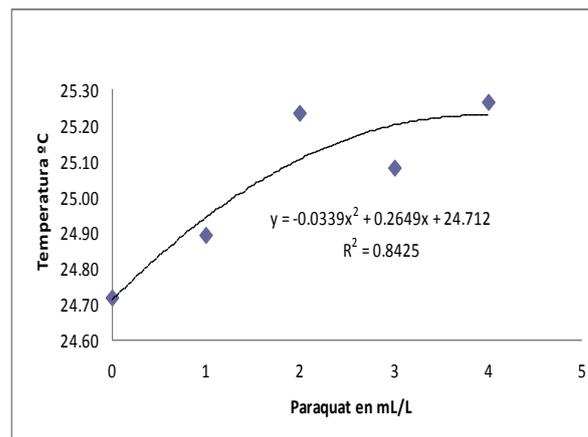


Figura 2. Regresión entre dosis de paraquat y la temperatura del suelo

En la Figura 3 y 4 se muestran los efectos del HG y HP en el pH de los tratamientos, mediante la regresión. Los cambios producidos por el HP y HG en el control de plantas invasoras, en general tienden a elevar los valores de pH en el estrato superficial del suelo de 0–0.15 m (3). El aumento de pH con el HG se produce por un aumento de la materia orgánica, este efecto está relacionado al poder tampón de la materia orgánica y al aumento de la fuerza iónica de la solución del suelo, debido al aumento en los valores de algunos nutrientes en el estrato superficial como cationes de reacción básica y la consecuente reducción de componentes de la acidez (H^+ y saturación por Al^{3+}). Esto ha sido verificado por diferentes investigadores (3).

Además, la estructura química muestra como principal componente al fósforo y este elemento no tiene químicamente acción como para afectar los niveles de pH. Sin embargo, el HG presenta ionización del grupo amino a pH 2, del grupo amino y el hidrogenión libre de la fracción de ácido fosfónico a 2.6, del hidrógeno del grupo carboxilo a pH de 5.6 (17). Esto sugiere que el grupo amino sufre ionización y liberación de H^+ y sería una respuesta a la disminución del pH cuando se aplica dosis más alta, considerando que luego de

la degradación del glifosato los grupos amino liberados pueden seguir una serie de reacciones que liberan iones H^+ que acidifican el suelo. Esta explicación se sustenta que en los suelos tropicales la molécula de glifosato es susceptible de degradación rápida y capaz de fraccionarse y dar origen a componentes tales como el CO_2 , agua, cierta fracción nitrogenada y algunos fosfatos (4), lo que daría lugar a un efecto neutralizador de la acidez a bajas concentraciones, por la presencia de la fracción nitrogenada y acidificante a medida que se incrementa la dosis del herbicida por el CO_2 , la oxidación de la misma fracción nitrogenada y la ionización de los grupos carboxilos que termina liberando H^+ .

La estructura química del HP muestra como principal componente al Dicloruro de 1-1'Dimetil-4-4' Dipyridilo (9). Por lo tanto, tenemos la presencia de cloruro, este elemento reacciona fácilmente con elementos alcalinos (Na^+ y K^+) y alcalino térreos (Ca^{2+} y Mg^{2+}) para dar formación a sales. Por ello podemos afirmar que químicamente existe formación de sales y esto puede estar afectando positivamente los niveles de pH (Figura 3) Es necesario aclarar que esta afirmación no necesariamente muestra al producto como beneficioso.

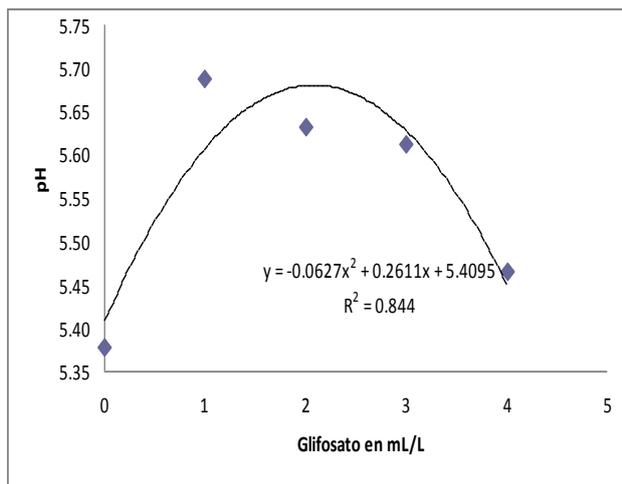


Figura 3. Regresión de la concentración de glifosato y el pH del suelo.

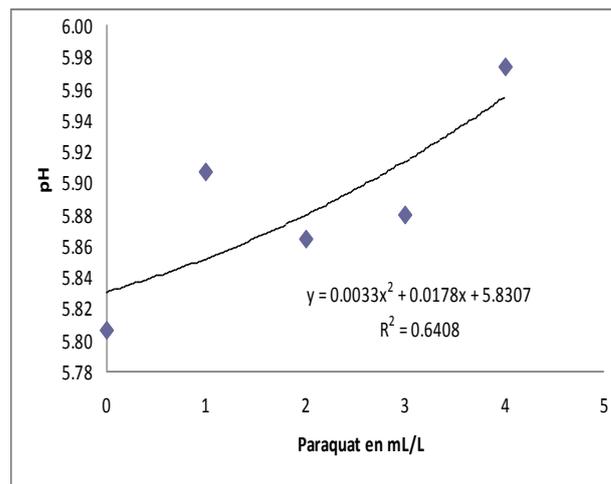


Figura 4. Regresión entre la dosis de paraquat y el pH del suelo.

En la Figura 5 y 6, se muestran los efectos de la dosis del HG y HP en el contenido de materia orgánica. Investigaciones demuestran que los herbicidas HP y HG incrementan los niveles de materia orgánica en diferentes estratos de 0–0.15 como de 0.15–0.30 m (3). De acuerdo a esto, en los resultados del HG es evidente que hasta la tercera evaluación hay un comportamiento creciente en el contenido de materia orgánica. Sin embargo, en la última evaluación se observa una disminución, pues la continua aplicación disminuye la densidad del follaje y cada vez se incorpora menor biomasa.

En el HP (Figura 6) se observa una disminución continua en todas las evaluaciones, este comportamiento es contrario a lo reportado y

puede ser explicado por la naturaleza de las propiedades físicas y químicas del paraquat (2), que destruye a todos los vegetales presentes en el área que entran en contacto directo, por lo que principalmente fenece la parte aérea mas no las raíces, por ello la aplicación con HP muestra una rápida recuperación de las malezas comparado con el glifosato. Esto puede explicar la disminución registrado en el contenido de materia orgánica, primero por la degradación de la parte aérea quedando cada vez con menor densidad de follaje que luego puede ser incorporado al suelo y en segundo lugar la permanencia de las raíces vivas que no pasan a formar parte del humus del suelo, traduciéndose esto en una continua y sostenida disminución de la materia orgánica del suelo.

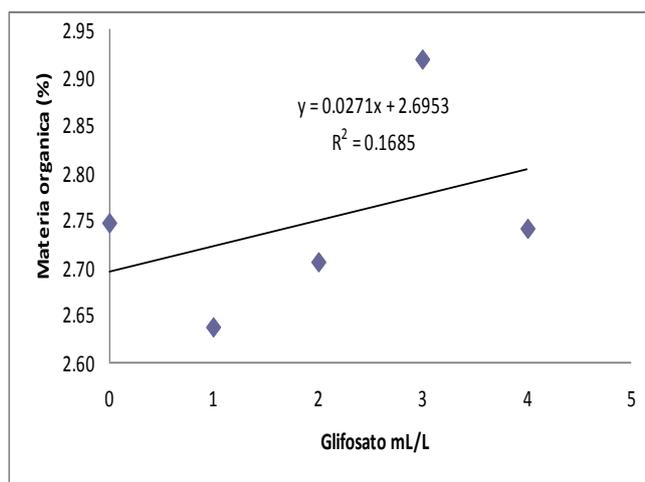


Figura 5. Regresión del HG y el contenido de materia orgánica del suelo.

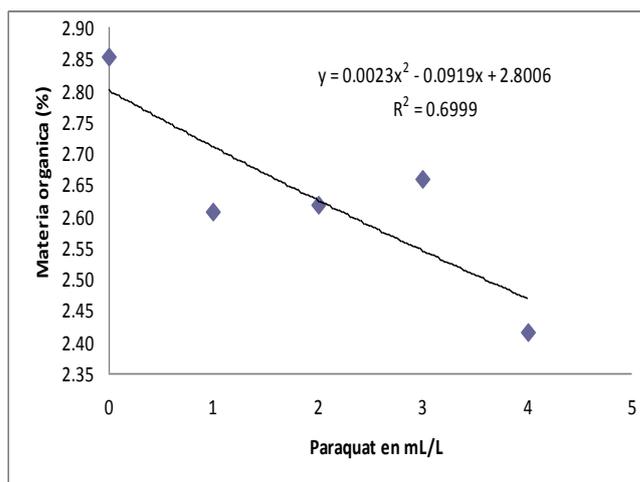


Figura 6. Regresión del HP y el contenido de materia orgánica del suelo.

En la Figura 7 y 8, se muestran los efectos de la dosis del HG y HP, observándose los valores promedio del número de bacterias del suelo de

acuerdo a la prueba de Duncan por cada evaluación. De acuerdo a estos resultados, a medida que se incrementa la concentración del

glifosato hay un efecto creciente en la disminución. Además, todos los tratamientos incluyendo el testigo presentan una tendencia a disminuir entre la primera y segunda evaluación. Sin embargo, está claro que con relación a la dosis aplicada ya no tiene mayores efectos en la tercera y cuarta evaluación. Este resultado es contrario a quienes afirman que los glifosatos pueden tener efectos positivos en la comunidad microbiana, especialmente en algunas bacterias que pueden usarlo como fuente de carbono (6).

El HG es letal para las plantas y las bacterias por inhibición de la síntesis de aminoácidos aromáticos, vitaminas, ligninas, alcaloides y flavonoides. Existen reportes en la que la aplicación de HG incrementa la población de microorganismos gracias a su capacidad para usar la molécula como fuente de C, N y P (6), razón por la cual hay una tendencia de estabilidad en cuanto a la disminución en el número de bacterias después de la primera aplicación, por lo

que se asume que las bacterias presentes en el suelo pueden haber desarrollado mecanismos de resistencia al producto o géneros tolerantes empiezan a incrementar su población; teniendo en cuenta que la degradación de glifosato es principalmente por vía microbiana, estando liderada por la población de *Pseudomonas sp* (4).

El electrón del radical paraquat es transferido al oxígeno que se transforma en anión superóxido (2), que pueden destruir las membranas de bacterias, ya que estas son a base de fosfolípidos (11). De acuerdo a esto, los resultados muestran concordancia con la acción de este herbicida, pues hay una disminución importante luego de la primera aplicación y a medida que se incrementa la dosis hay un efecto creciente en la disminución. Sin embargo, se observa el mismo comportamiento que en el HG, de una evidente estabilización y recuperación del número de bacteria.

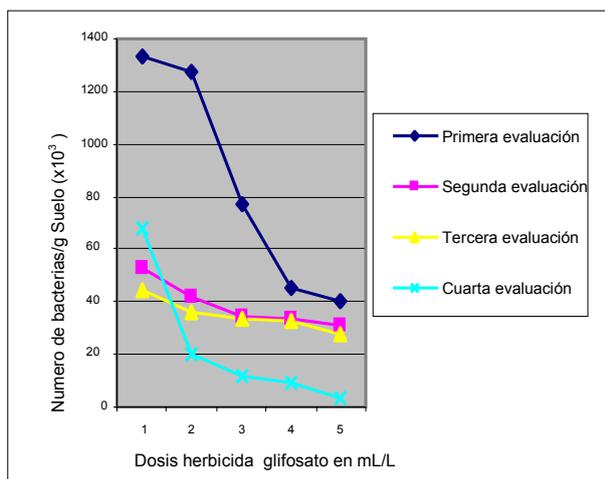


Figura 7. Efecto del HG en el número de bacterias del suelo, en cada evaluación.

En la Figura 9 y 10, se muestran los efectos de la dosis del HG y HP en los valores promedio del número de fungi del suelo de acuerdo a la prueba de Duncan por cada evaluación.

Los resultados rompen con todo los pronósticos esperados en esta investigación al parecer los fungi se ven poco afectados en presencia de ambos herbicidas, esto puede explicarse porque el HP y HG tienden a reaccionar y fijarse en el suelo y una fracción se pierde con los sedimentos (13). A medida que se incrementa la concentración del HG hay un ligero efecto en la disminución del número de fungi. Además a lo largo de la investigación todos los tratamientos presentan una tendencia sostenida de incremento. Sabemos que los fungi contienen enzimas como la lignina peroxidasa que le permite unirse o

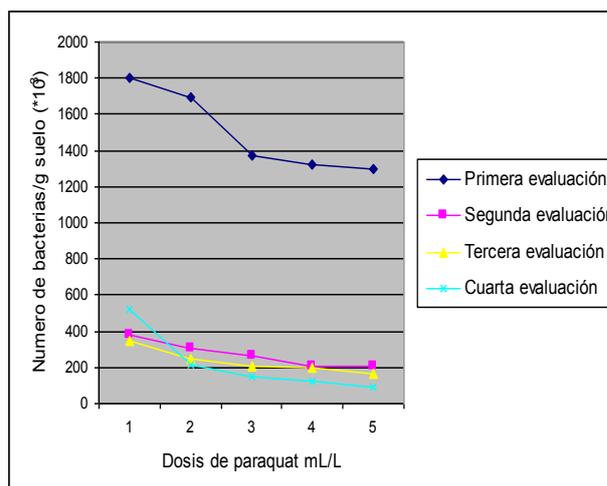


Figura 8. Efecto del HP en el número de bacterias del suelo, por cada evaluación.

ingresar a las raíces de los vegetales y teniendo en cuenta que el HG evita la unión de PEP, que inhibe la síntesis de aminoácidos aromáticos, vitaminas, ligninas, alcaloides y flavonoides y la consecuente síntesis de enzimas (4). Explica claramente el efecto de dosis altas sobre los fungi, estos dejarían de producir enzimas que les permite interactuar con la rizosfera.

El número de fungi muestra un incremento sostenido en las últimas evaluaciones, puede ser explicada por el aumento de géneros que tienen la capacidad para utilizar al glifosato como fuente de carbono, nitrógeno y fósforo (17), y por la ocupación del nicho ecológico abandonado por los demás microorganismos (principalmente bacterias), afectados por este herbicida. Además el pH del suelo a pesar que se incrementó,

permaneció en un nivel de suelo ácido y sabemos que son los fungi los que prefieren estas

condiciones y dominan estos ecosistemas principalmente por la ausencia de bacterias (15).

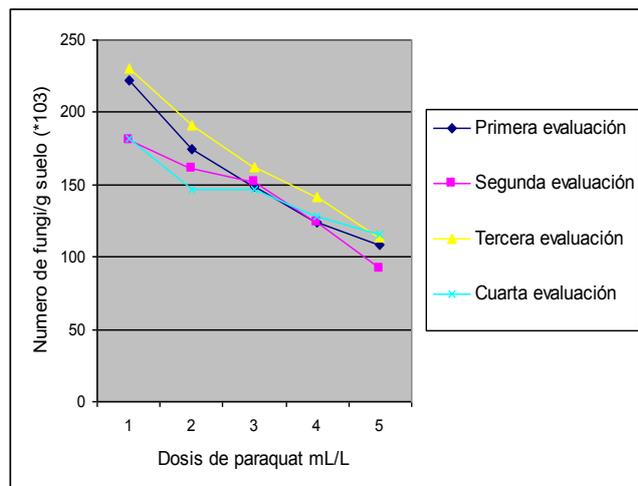


Figura 9. Efecto de la dosis del HP en el número de fungi del suelo, por cada evaluación

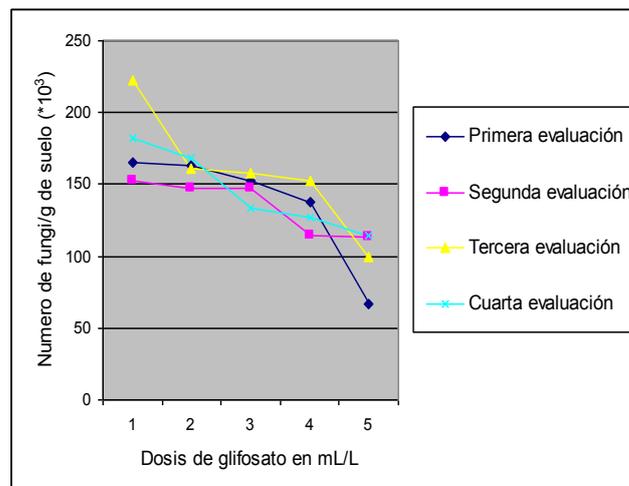


Figura 10. Efecto de la dosis del HG en el número de fungi del suelo, por cada evaluación.

Conclusiones

El HP afectó produciendo un ligero incremento de la temperatura del suelo, el pH del suelo aumento ligeramente sin cambiar de nivel crítico y el contenido de materia orgánica presento una ligera disminución sin cambiar de nivel crítico. El HG incrementó la temperatura del suelo, el pH del suelo registró un ligero incremento manteniéndose en el mismo nivel crítico y el mismo comportamiento se observó en el contenido de materia orgánica.

Estadísticamente no se encontró efecto significativo entre la aplicación del paraquat y el número de bacterias del suelo; sin embargo, éste afectó negativamente el número promedio de bacterias por gramo de suelo. Así mismo, no se encontró efecto significativo entre la aplicación del glifosato y el número de bacterias; sin embargo, mostró efectos negativos sobre el numero por gramo de suelo

Estadísticamente se encontró efecto significativo entre la aplicación del HP y el número de fungi del suelo, afectó negativamente en la primera aplicación, a partir de allí mostró tendencias sostenidas de incremento. Asimismo, se encontró efecto significativo con tendencia positiva entre la aplicación del HG y el número de fungi por gramo de suelo.

Referencias bibliográficas

- Alexander M. Introducción a la microbiología del suelo. Traducido por José Peña Cabriales. 2ª ed. México. Libros y Editores S.A.; 1998. Pp. 47- 62.
- Almeida GL, Schmitt GC, Bairos AV, Emanuelli T, Garcia SC. Os riscos e danos nas intoxicações por paraquat em animais domésticos. Cienc. Rural. Santa María. 2007; 37(5).
- Alcântara E, Azevedo J, Ferreira M. Métodos de controle de plantas invasoras na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e componentes da acidez do solo. Ciênc. Solo. Viçosa. 2007; 31(6).
- Calderón M, Quintana M, Lopez PA, Hermosín M, Cornejo J. Estudio preliminar sobre el comportamiento del herbicida en dos suelos de Extremadura. 2005; 7: 24-28.
- Cepeda, JM. Química de Suelos. 2ª ed. México. Editorial Trillas S.A; 1991.
- Édson J, Smiderlei OJ, Prata MC, Gouvêa N. População microbiana em solo cultivado com soja e tratado com diferentes herbicidas em área de cerrado no estado de Roraima. Acta Amaz. Manaus. 2007; 37 (2): 201-212.
- Forsythe W. Parámetros ambientales que afectan la temperatura del suelo en Turrialba, Costa Rica y sus consecuencias para la producción de cultivos. Costa Rica. Agronomía Costarricense. 2001; 26(1): 43-62.
- Glynn H, Gary WH. Ingeniería Ambiental. 2ª ed. Editorial Prentice Hall; 2010.
- Gagneten AM. Efectos del herbicida paraquat sobre el zooplancton Iheringia, Sér. Zool. Porto Alegre. 2002; 92(3): 47-56.
- Massenssini AM, Costa MD, Reis MR, Silva AA. Atividade de isolados bacterianos solubilizadores de fosfato na presença de formulações comerciais de Glyphosate. Planta daninha. Viçosa. 2008; 26(4).
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J, Brock J. Biología de los microorganismos. 10ª ed.

- Pearson Educación S.A. Madrid España. Viçosa. 2004; 27(1).
12. Rattan L, Manoj K, Shukla P. Principles of soil physics. The Ohio State U.S.A. 2^a ed. Ed. Marcel Dekker; 2009.
 13. Sylvia DM, Fuhrmann J, Hartel PG, Zuberer DA. Principles and applications of soil microbiology. United States of America. Hall. Inc; 1999.
 14. Santos JB, Silva AA, Costa MD, Jakelaitis A, Vivian R, Santos EA. Ação de herbicidas sobre o crescimento de estirpes de *Rhizobium tropici*. Viçosa. Planta Daninha. 2006; 24(3): 457-476.
 15. Who G. International Programme on Chemical Safety, Hallado en: <http://www.EnvironmentalHealth/Glyphosate/Chapter7>. Acceso el 10 abril de 2011.

