

Evaluación de cambios en las propiedades físico-químicas de suelos contaminados con glifosato, antes y después de la siembra con stevia

Evaluation of changes in physical-chemical properties of soils contaminated with glyphosate, before and after planting with stevia

Lina Marcela Mosquera Chaverra*

* Ingeniera Química, Estudiante de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Contratista del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Quibdó, Colombia.
e-mail: lina.mosquera.ch@hotmail.com

Resumen

Los cultivos de uso ilícito en Colombia han invadido gran parte de los suelos del Pacífico colombiano, sumándole a esto el empleo de pesticidas como el glifosato para erradicar estos cultivos ilícitos, los cuales además de tener efectos adversos sobre la salud, causan infertilidad en los suelos, haciendo difícil el desarrollo de la agricultura. En este estudio se presentan los resultados de la evaluación de los cambios en las condiciones físico-químicas de suelos contaminados con glifosato en el municipio de Guapi en el departamento del Cauca, antes y después de ser sembrados con Stevia rebaudiana. Los resultados del análisis físico-químico registraron una disminución en el contenido de pH, capacidad de intercambio catiónico, reducción de metales como el manganeso y el zinc, cambio en la textura del suelo, pasando de franco arcilloso limoso a franco arcilloso, reducción en los niveles de fósforo, así como un aumento en los niveles del porcentaje de materia orgánica, aluminio, hierro y cobre. Se puede decir que los datos más significativos fueron el aumento del hierro en suelo de 26.46 a 760.0 mg/kg y la disminución de metales pesados como el manganeso y el zinc en valores de 1.96 a 1.40 y 0.79 a 04.0 mg/kg, respectivamente.

Recibido: 10 de diciembre de 2013
Aprobado: 1 de marzo de 2014

Palabras clave: Análisis físico-químico, Glifosato, Metales pesados, Pesticidas, Remediación, Stevia rebaudiana.

Abstract

Illicit crops in Colombia have invaded much of the soils of the Colombian Pacific, adding to this the use of pesticides such as glyphosate to eradicate these illegal crops, which also have adverse health effects, cause infertility in soils, making difficult to develop agriculture. In this study the results of physical and chemical analysis of soils in the municipality of Guapi, Cauca, before the establishment and after planting stevia are embodied. The results of physicochemical analysis showed a decrease in the content of pH, cation exchange capacity, reduced metals such as manganese and zinc, change in soil texture, from silty clay loam to loamy clay, reduced levels phosphorus and increased levels of organic matter percentage, aluminum, iron and copper. It can be said that the most significant data was the increase of iron in soil of 26.46 to 760.0 mg/kg and decreased heavy metals such as manganese and zinc values of 1.96 to 1.40 and 0.79 to 04.0 mg/kg, respectively.

Keywords: Glyphosate, Heavy metals, Pesticides, Physicochemical analysis, Remediation, Stevia rebaudiana.

Introducción

Los cultivos de uso ilícito en Colombia representan una de las mayores amenazas para el medio ambiente, contribuyendo de manera significativa en los procesos de deforestación en el país, además del uso de químicos incorporados en el procesamiento, sobre todo de la coca que provocan fuertes impactos en el agua y suelo de los sitios de las plantaciones. La Comisión Nacional de Estupefacientes señala que para sembrar exitosamente una hectárea de coca o amapola es necesario talar tres hectáreas; se estima la tala histórica total entre 1'000.000 y 1'5000.000 hectáreas (Rodríguez 2003). Son muchos los intentos por erradicar los cultivos de uso ilícitos sobre todo a través del uso de herbicidas. Para el año 2007, el uso de herbicidas en todo el mundo era de 951.000 toneladas aproximadamente (Campana 2014).

El herbicida más utilizado es el glifosato, el cual es un herbicida sistémico que actúa en post-emergencia, no selectivo, de amplio espectro, usado para eliminar plantas no deseadas como pastos anuales y perennes, hierbas de hoja ancha y especies leñosas. Técnicamente, el glifosato es un ácido, pero se usa comúnmente en forma de sales, siendo la más común la sal isopropilamina (IPA) de N-(fosfometil) glicina, o sal isopropilamina de glifosato, altamente soluble en agua, prácticamente insoluble en solventes orgánicos (EPA 2003, Green Peace 1997, Meister 1994, Williams *et. al.* 2000); es aplicado por vía aérea, afectando las plantaciones presentes y atentando contra la diversidad de fauna y flora asociada.

En Colombia a partir de 1992 el Consejo Nacional de Estupefacientes autorizó la aspersión aérea controlada de cultivos de uso ilícito del agente químico glifosato-Roundup, después de la evaluación de diferentes herbicidas (Varona *et al.* 2009). El censo de cultivos de coca en el 2013, señala que solo en la región del Pacífico se reporta que el área afectada por cultivos de coca es de 18.562 hectáreas (UNODC 2013), razón por la cual se hace necesario emplear técnicas de remediación, aplicando tecnologías más limpias que busquen corregir en cierta medida los suelos contaminados por el uso de agroquímicos que son empleados para erradicar los cultivos ilícitos, porque el suelo es un medio donde ocurre una gran diversidad de procesos y cuya calidad determina la capacidad de sostener la productividad vegetal y animal, así como conservar o mejorar la calidad del aire o agua.

Mantener una buena calidad del suelo, asegura la continuidad de procesos, actividades e interacciones que resultan vitales para el sostenimiento de la vida. Entre las técnicas empleadas para la remediación de suelos se encuentra la fitorremediación; en esta técnica se utilizan las plantas para destruir, eliminar o transformar contaminantes del suelo, agua y aire (Zhi-xin *et al.* 2007). Las plantas secuestran

los nutrientes y los almacenan en raíces y brotes, o en otros tejidos, siendo útiles en los procesos de remediación.

Dentro de las especies usadas como fitorremediadoras se encuentra la *Stevia rebaudiana*, esta planta también conocida como “yerba dulce”, está constituida por una mezcla de por lo menos seis glucósidos diterpénicos, que es de 100 a 400 veces más dulce que la sacarosa y que por sus características físico-químicas y toxicológicas permite su inclusión en la dieta humana para ser utilizada como un edulcorante dietético natural, sin efectos colaterales.

De igual modo la stevia presenta aplicaciones en la agricultura y beneficios para el medio ambiente, porque revitaliza a los microorganismos benéficos del suelo y permite recuperar su fertilidad, mejora el enraizamiento de las plantas, estimulando el crecimiento radicular, purifica el suelo contaminado por agroquímicos, y otras sustancias químicas, aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y enfermedades, mejora el estado sanitario del cultivo y por tanto aumenta su rendimiento, contribuye a prevenir la caída de los frutos, previene el agotamiento, por fructificación excesiva, y el envejecimiento de la planta, aumenta el contenido de azúcares de frutos y mejora su sabor, aumenta el contenido de vitaminas minerales y otros nutrientes de las hortalizas, mediante su acción antioxidante, mejora considerablemente la durabilidad de los productos en postcosecha, acelera la producción de abono orgánico (compost), a partir de residuos orgánicos y reduce la concentración de nitratos, dioxinas, restos de fertilizantes y pesticidas del suelo (Landázuri y Tigrero 2009).

En este artículo se presentan los resultados de un estudio de investigación, que tuvo como propósito fundamental evaluar los cambios en pH, materia orgánica, calcio, magnesio, potasio, aluminio, sodio intercambiable, fósforo asimilable, elementos menores como cobre, zinc, magnesio, hierro y boro de suelos afectados con la siembra de cultivos de uso ilícito y posteriormente sometidos a fumigación con glifosato, antes y después de ser cultivados con stevia.

Metodología

Área de estudio. El estudio se desarrolló en el municipio de Guapi, ubicado al suroccidente del departamento del Cauca, bordeando la vertiente del Pacífico colombiano a orillas del río Guapi. La cabecera municipal está ubicada a los 2° 34' de latitud norte y a los 75° 54' de longitud occidental (Figura 1); tiene una superficie de 2.688 km², una superficie 90% plana y se caracteriza por abundante vegetación, sobre una altura de 5 msnm y una temperatura promedio de 29°C. Su población es de 30.759 habitantes aproximadamente (EOT Municipio de Guapi, 2012-2015),

Métodos. El desarrollo del presente estudio requirió la ejecución de dos etapas especialmente concatenadas; en la

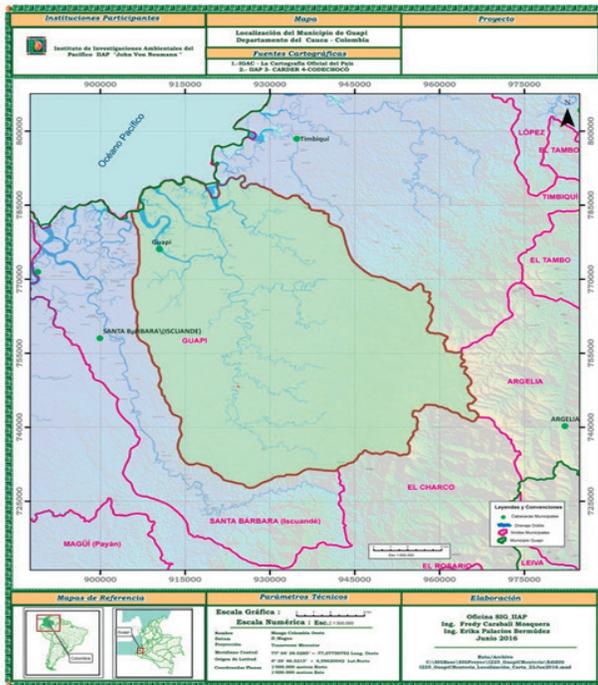


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

primera se llevó a cabo la revisión de literatura relacionada con la temática de estudio, y la segunda etapa denominada fase experimental donde se aplicaron los protocolos necesarios para la medición de los cambios en las propiedades físico-químicas de suelos contaminados con glifosato, antes y después de ser sembrados con stevia.

Revisión de literatura. Se realizó revisión de literatura en diferentes bases de datos científicas, consignadas en la Web, como EBSCO HOT, JSTOR, ScienceDirect, tesis de grado publicadas por diferentes universidades, con la finalidad de obtener información sobre el uso de la stevia como remediador de suelos.

Fase experimental. Esta fase involucró en primer lugar la determinación de área de estudio y toma de muestras iniciales de suelos contaminados con glifosato, y en segundo lugar se presentan los procesos utilizados para la siembra de stevia en estos suelos. Finalmente, un mes después de haber sido sembradas, se tomaron nuevamente muestras de suelos en el área de estudio seleccionada y se determinaron los cambios en las propiedades físico-químicas de estos suelos contaminados con glifosato. Los resultados de los análisis físicoquímicos de las muestras de suelo seleccionadas fueron comparados con los valores de los parámetros establecidos para este tipo de suelos.

Fase 1. Determinación del área de estudio y toma de muestras iniciales de suelos. Se seleccionó un área de terreno con cultivos de uso ilícito por más de dos años y sometida a fumigación reciente con glifosato, en la cual se



Figura 2. Parcelas delimitadas para siembra de la stevia.

Fuente: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico.



Figura 3. Primera muestra de suelo.

Fuente: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico.

estableció una parcela de 10 m x 10 m, que fue subdividida en cuatro subparcelas. En cada una de estas subparcelas se tomó una muestra inicial del suelo a una profundidad comprendida entre 0 y 20 cm, (Figura 2 y 3), cada una de las muestras de suelo fueron homogenizadas en un balde limpio y se retiraron elementos como piedras, raíces, etc. Se secaron a la sombra evitando su contaminación con otros elementos, luego se pesó y empacó un kg de cada muestra en bolsas especiales, las cuales se rotularon para su identificación y enviaron a al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional, sede Palmira, para la realización de análisis físicoquímico (condiciones iniciales del suelo antes de la siembra de stevia).

Fase 2. Establecimiento del cultivo de stevia en el área seleccionada. Posterior a la toma inicial de muestras de suelos, se procedió a sembrar con stevia el área delimitada (parcela de 10 m x 10 m) a una distancia de siembra entre

Stevia y glifosato. LM Mosquera



Figura 4. Siembra de stevia en el área delimitada.



Figura 5. Condiciones finales del suelo (después de la siembra con stevia).

Fuente: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico.

plantas de 1 m x 1 m, para un total aproximado de 100 plántulas. Cada planta fue sembrada a 20 cm de profundidad.

Fase 3. Toma de muestras finales del suelo. Un mes posterior al establecimiento del cultivo de stevia en el área seleccionada y con el propósito de determinar los cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos contaminados con glifosato, se tomó una segunda muestra de suelo en cada una de las subparcelas del área de 10 m x 10 m seleccionada (Figura 4 y 5), aplicando los mismos protocolos establecidos para la toma de muestras de suelos inicial (Fase 1) y enviadas al Laboratorio de Química de Suelos, Aguas y Plantas de CORPOICA.

Resultados y discusión

Los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al suelo, antes de la siembra de stevia (condiciones iniciales del suelo) y posterior a la siembra de esta (condiciones

Fuente: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico.

finales del suelo), aparecen en la Tabla 1.

Con respecto a las características físicas del suelo, los resultados muestran que la textura al tacto cambió; inicialmente se tenía una textura FArL, pasando a obtenerse una textura FAr.

Los análisis fisicoquímicos muestran cambios en el nivel de acidez del suelo, el pH varió de 4.9 a 4.42, lo que indica que hay un contenido de acidez mayor, posiblemente se deba a un incremento contaminante de cationes metálicos Al^{3+} y Fe^{3+} , que pueden sufrir hidrólisis ácida.

Corbella *et al.* (2006) afirman que la disminución en el contenido de la materia causa una disminución en su contenido de capacidad de intercambio catiónico (CICE), coincidiendo con los datos obtenidos en los resultados fisicoquímicos (Tabla 1).

Rojas (2006) explica que el fósforo forma compuestos débilmente solubles en cationes monovalentes y divalentes, la cantidad de fósforo en el suelo es poca, las plantas

Tabla 1
Resultados condiciones fisicoquímicas de suelos afectados por cultivos ilícitos y presencia de glifosato

Muestras	Profundidad	Textura	pH	MO%	cmolc/kg			mg/kg					
					Na	Al	CICE	Fe	Mn	Zn	Cu	B	P
Antes de la siembra de stevia	20 cm	FArL	4.9	2.92	0.15	2.19	14	26.46	1.96	0.79	0.12	0.16	3.36
Después de la siembra de stevia	20 cm	FAr	4.42	3.43	0.05	2.29	3.32	760.0	1.40	0.40	5.60	0.12	1.13

Fuente: Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico

absorben esa pequeña cantidad del suelo; además el óptimo rango de pH en el suelo dentro del cual se observa la máxima disponibilidad del fósforo se encuentra entre 6.5 y 7.5.

Metales como el Fe, Cu y Al, presentaron un aumento de su contenido en la muestra final (después de la siembra de stevia). Sin embargo, los valores arrojados están dentro del rango normal en suelos: Fe (640-2486 mg/kg), Cu (0.4-45.8 mg/kg) (Browe 1979, Ross 1994, Singh *et al.* 1994). De igual forma Thompson *et al.* (1973), reportan que el hierro es esencial para el crecimiento de las plantas, por lo general se considera un micronutriente y clave en las transformaciones de energía, necesarios para los procesos de síntesis y otra vida de las células.

Se observó una disminución en metales como el Mn y Zn, lo que indica que la stevia puede absorber metales. Sin embargo, no representan un riesgo para la salud en el caso de ser consumida, porque los valores reportados en la Tabla 1 para estos dos metales son bajos, con respecto a los valores de rango normal en plantas y suelo: Zn (1-160 mg/kg) y Mn (15-100 mg/kg) (Ibnu *et al.* 2014).

De acuerdo con el grupo de metales pesados analizados, se evidencia una disminución de Mn y Zn en las condiciones finales del suelo (resultados después de la siembra de la stevia). Ibnu *et al.* (2014) reportan una acumulación de metales pesados en las hojas, tallos y flores de la planta de la stevia, ubicándola en una categoría fitorremediadora que puede ser utilizada para eliminar metales pesados del suelo, mediante su capacidad para absorber cantidades de metales que pueden ser esenciales para el crecimiento vegetal (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo y Ni) (Cho *et al.* 2006).

En la Tabla 1, se reporta que los niveles de absorción del Mn fueron mayores que el Zn, coincidiendo con Intawongse y Dean (2006), quienes señalan que algunos metales presentes en el suelo tienen mayores niveles de absorción para las plantas y la absorción del manganeso disponible en el suelo por parte de las plantas es mayor que para el zinc. Méndez y Maier (2008), reportan concentraciones en la parte aérea de la planta entre 1000 y 10.000 mg/kg para el Mn y mayor o igual 10.000 para el Zn. Kumar *et al.* (1995), expresan que el zinc es un elemento esencial para la nutrición de las plantas, al igual que el manganeso; sin embargo, altos valores de Mn en el suelo pueden obstaculizar el crecimiento de las plantas.

Algunos metales pesados en el suelo son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para las plantas (Spain 2003). Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental; la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (Sauve *et al.* 2000).

Asimismo, Khodjanizayov *et al.* (2012) reportan que la

stevia ha sido utilizada para la degradación de plaguicidas organoclorados persistentes, degradado al pesticida y formando compuestos menos tóxicos, con una degradación hasta del 80% de los pesticidas organoclorados.

Conclusiones

La siembra de cultivos ilícitos y la fumigación con glifosato para su erradicación, deja trazas de contaminantes, sobre todo de metales pesados en el suelo. La realización de análisis fisicoquímicos en suelos de un área de terreno contaminada con glifosato, permitió evidenciar cambios significativos en las condiciones fisico-químicas iniciales y finales de los suelos evaluados. Estudios han demostrado que la stevia tiene un efecto fitoacumulador de metales pesados, quizás a ese potencial se deba la disminución de metales pesados como el manganeso y el zinc, pasando de unos valores de 1.96 a 1.40 y 0.79 a 0.40 mg/kg, respectivamente. El aumento en los niveles de Fe y Al, cationes metálicos que sufren un proceso de hidrólisis ácida, siendo los causantes de incrementar el potencial de acidez del suelo, porque hubo una disminución en el pH, se deba probablemente a la presencia de la stevia en el suelo.

Recomendaciones

Realizar análisis químicos de metales pesados en los órganos de la planta, porque estudios revelan que es una acumuladora de metales pesado, y se hace necesario saber qué metales pesados quedan contenida en ella. De la misma forma análisis de metales pesados en las condiciones iniciales y finales del suelo, puede dar idea de la cantidad de metales absorbidos, ya que los análisis realizados en este estudio solo corresponden a Zn, Mg, Fe, Cu, dejando de lado metales como Cd, Ni, Pb, etc., que tienen más implicaciones tóxicas en la asimilación de nutrientes del suelo.

Literatura citada

- Alcaldía Municipal de Guapi. 2012. *Esquema de Ordenamiento Territorial de Guapi*. Guapi: Alcaldía Municipal.
- Browe HJ. 1979. *Environmental chemistry of the elements*. London: Academic Press.
- Campana J. 2014. *Plant Health Management: Herbicides*. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. Davis: University of California; pp. 425-40.
- Cho RK, Kurukote J, Supprung P, Vetayasuporn S. 2006. Perennial plants in the phytoremediation of lead contaminated soils. *Biotechnology*. 5 (1): 1-4.
- Corbella R, Fernández de Ullivarri J. 2006. *Materia orgánica del suelo*. Tucumán: Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán.
- EPA (Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos). 2003. *Uso de pesticidas en el programa de erradicación de cultivos de coca y de amapola en Colombia*. Washington, DC: EPA; 45 pp.
- Greenpeace. 1997. *Glyphosate fact sheet*. Washington, DC: Greenpeace; 4 pp.
- Ibnu EW, Bin AZ, Sakinah AM. 2014. Assessment of heavy metals tolerance in leaves, stems and flowers of *Stevia rebaudiana* plant. *Proc Environ Sci*. 20: 386-93.

Stevia y glifosato. LM Mosquera

- Intawongse M, Dean J. 2006. Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. *Food Additives and Contaminants*. 23: 36-48.
- Khodjanizayov KU, Khidirova NK, Mukarramov NI. 2012. Steviaside containing plant as deconstructive (degradative) agent for persistent organic pollutants. *J Environ Protect*. 3: 767-72.
- Kumar P, Dushenkov V, Motto H, Raskin I. 1995. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ Sci Technol*. 29 (5): 1232-8.
- Landázuri P, Tigrero J. 2009. *Stevia rebaudiana Bertoni, una planta medicinal*. Sagolquí: Escuela Politécnica del Ejército Departamento de Ciencias de la Vida, carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias.
- Meister R. 1994. *Farm Chemicals Handbook '94*. Vol. 80: C178-9.
- Méndez M, Maier R. 2008. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *J Environ Sci Biotechnol*. 7: 47-59.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). 2013. *Colombia, monitoreo de los cultivos de coca*. Bogotá: UNODC.
- Rodríguez M. 2003. *Los cultivos ilícitos y el medio ambiente. Análisis histórico del narcotráfico en Colombia*. Presentado en la VIII Cátedra Anual de Historia "Ernesto Restrepo Tirado", octubre 29 al 31 de 2003, Museo Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Rojas C. 2006. *Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile*. Santiago: Centro Regional de Investigación (INIA) La Platinina. Recuperado de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf>
- Ross SM. 1994. Sources and forms of potentially toxic metals in soil plant systems. In: Ross SM (ed.). *Toxic metals in soil-plant system*. Chichester: Soil and water contamination by heavy metals. *Advances in soil science*. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Sauve S, Henderson W, Allen HE. 2000. Solid solution partitioning of metals in contaminated. *Environ Sc Technol* 34 (7): 1125-31.
- Singh P, Ganesan K, Malathi K, Ghosh D, Datta A. 1994. ACPR, a STE12 homologue from *Candida albicans*, is a strong inducer of pseudohyphae in *Saccharomyces cerevisiae* haploids and diploids. *Biochem Biophys Res Commun*. 205 (2): 1079-85.
- Spain A. 2003. Implications of microbial heavy metals tolerance in the environment. *Rev Undergrad Res*. 2: 1-6.
- Thompson LM, Troeh FR. 1973. *Soils and soil fertility*. 3rd ed. Oklahoma city: McGraw-Hill Book Co.
- Varona M, Henao GL, Díaz S, Lancheros A, Murcia Á, Rodríguez N, et al. 2009. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomedica*. 29 (3): 456-75.
- Williams G, Kroes R, Munro I. 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regulat Toxicol Pharmacol*. 31: 117-65.
- Zhi-xin N, Li-na S, Tie-heng S, Yu-shuang L, Hong W. 2007. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *J Environ Sci*. 19: 961-7.