

Caracterización del lixiviado agroecológico a partir de residuos orgánicos de cultivos

Characterization of the agroecological leachate from organic residues of crops

Caracterização agroecológica de lixiviado de resíduos de culturas orgânicas

Carlos Arturo Granada Torres¹ & Yolvi Prada Millán²

¹Bacteriólogo, Especialista en Microbiología Industrial, Magíster en Administración de Salud Pública, Candidato a Doctor en Biotecnología y Bioprocesos Industriales. ²Ingeniera Agrónoma, Candidata Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales, Colombia.

¹Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo – CIMAD. ^{1,2}Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Universidad de Manizales, Manizales Colombia.

¹cgranada@umanizales.edu.co, ²yolmillan@hotmail.com

Resumen

Los abonos orgánicos desde tiempos remotos se han trabajado de diferentes maneras, algunos sin ningún tipo de control y manejo adecuado, aun así son utilizados para conservar y mejorar las condiciones fisicoquímicas y biológicas de los suelos. Los abonos orgánicos proceden de la transformación de residuos orgánicos de origen vegetal y/o animal que generan subproductos como lixiviados, los cuales se convierten en un problema de contaminación al no tener en cuenta su captación como líquidos residuales, ya que una parte se filtra deteriorando y contaminando suelos, aguas libres, aguas subterráneas y otra parte queda expuesta en la superficie ocasionando desprendimiento de CO₂ hacia la atmósfera, lo cual acelera el efecto invernadero. Este artículo de investigación pretende determinar el manejo actual de residuos orgánicos de fincas dedicadas a la producción agroecológica y caracterizar la composición de estos lixiviados, a diferencia de los residuos líquidos extraídos del compost convencional. Se analizaron en laboratorio muestras de lixiviados de los dos tipos de compost, con el fin de relacionar los parámetros

fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados muestran que el lixiviado agroecológico presenta un mayor índice y diversidad de comunidades microbiológicas. Con relación a las características fisicoquímicas hay mayor concentración de nutrientes y metales pesados en el lixiviado convencional, por lo cual se recomienda evaluarlos antes de su aplicación en campo.

Palabras clave: compost, lixiviado, residuos, producción agroecológica, microorganismos, manejo fitosanitario.

Abstract

The organic fertilizers have been worked in different ways since ancient times, some without any kind of control and adequate management, even so they are used to conserve and improve the physicochemical biological conditions of the soil. The organic fertilizers come from the transformation of organic residues from animal and/or plant origin which generate byproducts such as leachate, which become a problem of pollution because its collection as residual liquids is

not taken into account, since one part is filtered leading to deterioration and contamination of the soil, free waters, groundwater and the other part is exposed on the surface causing release of CO₂ into the atmosphere, which accelerates the greenhouse effect. This research article aims to determine the current management of organic residues of farms dedicated to the agroecological production and characterize the composition of these leachates, unlike the liquid waste extracted from the conventional compost. Samples of leachate from the two types of compost were analyzed in the laboratory, in order to relate the physicochemical and microbiological parameters. The results showed that the agroecology leachate presented a higher index and diversity of microbiological communities. With regard to the physico-chemical characteristics there was a greater concentration of nutrients and heavy metals in the conventional leachate, this is the reason why it is recommended to evaluate them before their implementation in the field.

Keywords: compost, leachate, waste, agroecological production, microorganisms, phytosanitary handling.

Resumo

Aubos orgânicos desde os tempos antigos têm-se usado de maneiras diferentes, alguns sem qualquer controle e gestão adequadas, ainda assim, são usados para preservar e mel-

horar as condições físico-químicas e biológicas do solo. Aubos orgânicos vêm de resíduos orgânicos transformados de origem animal y/o vegetal que geram subprodutos como lixiviados, que se tornam um problema de poluição por não ter em conta a sua captura como líquidos residuais, uma porção escoada, causando deterioro e contaminação do solo, as águas livres, águas subterrâneas e outros lugares estão expostas na superfície causando a liberação de CO₂ na atmosfera, acelerando o efeito estufa. Este trabalho de pesquisa tem como objetivo determinar a atual gestão de resíduos orgânicos provenientes de explorações dedicadas à produção agroecológica e caracterizar a composição desses lixiviados, ao contrário do líquido extraído da compostagem convencional. Foram analisadas em laboratório amostras de lixiviados a partir dos dois tipos de compostagem, a fim de se relacionar parâmetros microbiológicos e físico-química. Os resultados mostram que o lixiviado agroecológico tem um índice mais alto na diversidade das comunidades microbianas. No que respeita às características físico-químicas, concentrações mais elevadas de nutrientes e de metais pesados, se apresetaram no lixiviado convencional, Por conseguinte, recomenda-se avaliá-los, antes da aplicação no campo.

Palavras-chave: compostagem, lixiviado, resíduos, produção ecológica, microorganismos, gestão fitossanitária.

Introducción

En Colombia, se evidencia un fenómeno de alto consumo de materiales que no se reutilizan y gran parte de los desechos sólidos están constituidos por algo más del 50% de residuos orgánicos, cuyo inadecuado manejo se convierte en un factor altamente contaminante por la elevada segregación de lixiviados sin canalización o recirculación de éstos, afectando la salud del ser humano, el medio ambiente, los suelos y las fuentes hídricas, (BID, OPS/

OMS, 1997). De igual manera, se observa que el agricultor en su afán de mejorar las producciones utiliza abonos orgánicos sin conocer su procedencia, lo cual puede agregar un problema a los suelos y transmitir al consumidor problemas sanitarios. Teniendo en cuenta los efectos que se desprenden del manejo adecuado de residuos orgánicos y la importancia que en los últimos años ha tomado la agricultura agroecológica u orgánica en países

Europeos y casos muy puntuales en Colombia, estudios realizados demuestran que los extractos de compost poseen componentes activos de bacterias (*Bacillus*), fermentos (*Sporobolomyces* y *Cryptococcus*) y hongos, además de antagonistas químicos como fenoles y aminoácidos, los cuales tienen efectos positivos sobre el crecimiento y condiciones sanitarias de las plantas. Partiendo de esta información, se establece la diferencia entre un lixiviado convencional, actualmente manejado en la región y el lixiviado agroecológico que sirve de opción y herramienta para la producción orgánica sostenible, resaltando el adecuado manejo de residuos orgánicos con la reutilización de éstos y el aprovechamiento de los subproductos que se originan en este proceso de compostaje, los cuales actualmente no se utilizan y se liberan a la atmósfera ocasionando problemas ambientales (Mendzvcki, 2001 citado en Lombricol, 2012). Al conocer la composición de los lixivados agroecológicos es posible revisar la dosificación y el efecto en campo al agregar microorganismos eficaces a estos residuos líquidos.

Sin lugar a dudas, la adición de enmiendas orgánicas puede influir positivamente en las propiedades físicas del suelo (Stevenson, 1982; Roldán *et al.*, 2003), mejorando su estructura, incrementando la formación y estabilidad de agregados, la capacidad de retención hídrica del suelo. Este hecho disminuye la escorrentía, evita el lavado de nutrientes y mejora el desarrollo vegetal (Bastida *et al.*, 2007). Las interacciones que se logran permiten la adecuada relación suelo-planta y ambiente que se verá positivamente influenciada por la actividad microbiana, el mayor contenido de fuentes de energía y nutrientes en el suelo, dando paso al crecimiento, desarrollo de las plantas y el equilibrio a nivel fitosanitario del cultivo.

El propósito del avance de esta investigación es presentar los resultados de la caracterización del lixiviado procedente del manejo de un compost agroecológico usado como acondicionador de suelo en el cultivo de lechuga, identificando la respuesta fitosanitaria y productiva del cultivo al lixiviado y analizar el manejo adecuado e inocuo de los residuos orgánicos.

Materiales y métodos

El proceso de compostaje y la obtención del lixiviado agroecológico se realizó en el municipio de Anolaima, Cundinamarca, Colombia, ubicado a 4° 45'40" Latitud Norte y 74° 27'54" Longitud W. Greenwich, altitud de 1.657 msnm, temperatura promedio anual de 19 °C, con variaciones de 12 °C a 24 °C, dependiendo de las diferentes áreas agrológicas que se encuentran en el municipio. La precipitación promedio anual es 1500 mm y la humedad relativa en invierno es del 80% y en verano del 70%. (Fuente: EOT Anolaima 2002).

Se realizó el montaje de la estructura de la compostera (Figura 1) para determinar el manejo adecuado de los residuos orgánicos, utilizando los siguientes materiales: 8 estibas de madera de 1m por 1,10 m, madera semicepillada, plástico negro y amarillo de 1,20 m de largo por 1,10 m de ancho, alambre número 10, 3 m; recipiente plástico capacidad 4 l, guadua de 1,20 m de largo y diámetro de 18cm, 6 estacas de madera de 0,70 m de largo. Se realiza la infraestructura tanto del techo como de la compostera y se depositan los diferentes materiales a compostar (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales utilizados en el compostaje

Material orgánico	Cantidad
Tierra del lote (cultivo de café)	Se disponen capas entre 15 y 20 cm de cada material, previamente fraccionado, para acelerar el proceso de transformación. Se trabaja con un volumen de 1m ³
Residuos de cultivo de hortalizas	
Roca fosfórica (espolvoreo 200 g)	
Pasto elefante	
Cubetas de huevo	
Equinaza	
Tierra del lote (cultivo de café)	
Microorganismos eficaces + Melaza	
Residuos de cultivo de Plátano (vástago y hojas)	
Roca fosfórica	
Cubetas de huevo	
Bore	
Bovinaza (espolvoreo 200 g)	
Tierra del lote (cultivo de café)	
Microorganismos eficaces + Melaza	
Cubetas de huevo	

Inicialmente se utilizaron 2 l de E.M y 1 kg de melaza en 20 l de agua y 200 g de roca fosfórica dispuestas en las capas correspondientes, los volteos se realizaron cada 15 días incorporando los lixiviados que se obtenían semanalmente por 25

días y con adiciones de agua y E.M. según requerimiento de humedad, registro tomado en campo semanalmente, así mismo la temperatura se midió observándose el valor más alto de 70°C y mínimo de 15°C.



Figura 1. Ubicación de la compostera agroecológica

Se tomó la muestra del lixiviado agroecológico hacia los 32 días de iniciado el proceso de compostaje, observando las características organolépticas del residuo

líquido de color oscuro (café) e inodoro. Estas muestras fueron enviadas a 4 laboratorios para el respectivo análisis específico, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Laboratorios y tipo de análisis utilizados en los lixiviados agroecológico y convencional

Laboratorio	Tipo de análisis
Laboratorio ANGEL BIOINDUSTRIAL	Análisis Microbiológico
Laboratorio FUNDASES	Recuento microbiológico completo de lixiviados
Laboratorio AGRILAB	Caracterización y composición de material orgánico líquido
Laboratorio IGAC	Análisis metales pesados Cr, Pb y Cd

Para la caracterización de los lixiviados convencional y agroecológico se tuvieron en cuenta los parámetros obtenidos de los análisis microbiológicos, químicos y de metales pesados. Dentro de los microbiológicos se analizaron especialmente salmonella y coliformes fecales, *Pseudomona Aeruginosa*, *Actinomicetos*, fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fosforo, *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp, *Rhizopus* sp, En el análisis químico se contrasta la información de carbono orgánico oxidable total, conductividad eléctrica, NOrg, P2O5, K2O, CaO, MgO, S-SO4, hierro soluble, manganeso soluble, cobre soluble, zinc soluble, boro soluble, sodio soluble; en metales pesados se midieron plomo, cromo y cadmio. A partir de estos resultados se desarrollaron graficas descriptivas comparando los niveles de microorganismos y niveles de elementos químicos encontrados en cada uno de los dos tipos de lixiviado.

Resultados

Estructura física para el manejo de residuos sólidos y captación de lixiviados

Al observar las diferentes técnicas que utilizan los productores de compost y los

agricultores que manejan el aprovechamiento de los residuos sólidos para abonos orgánicos, se determinó una estructura de fácil acceso económico, consecución y manejo del proceso, pero que a la vez proporcionara las condiciones de temperatura y humedad adecuadas para el proceso de compostaje: en cuanto a la canalización y conducción de los lixiviados se elaboró una canal en el suelo a 5 cm de la compuerta y con un desnivel contra la pendiente, se colocó una guadua revestida de plástico, por medio de la cual se conducen los lixiviados hacia un recipiente insertado en el suelo, esto con el fin de almacenar los líquidos que serán utilizados para recircular en el mismo sistema, minimizando el impacto ambiental.

La estructura de la compostera maneja un volumen de 1 m³, lo cual permite que la temperatura se concentre y alcance los 65°C, de igual manera por la ubicación de los listones de las estibas hay una regulación adecuada de la aireación. El manejo de los residuos se facilita por la disposición de los materiales y los volteos constantes requeridos, es una estructura propicia para el manejo inocuo de los residuos y estéticamente visibiliza el orden y el manejo responsable de los residuos orgánicos.

Con la estructura se facilita la conducción y recolección de los lixiviados recirculados en el proceso de compostaje, permitiendo la obtención de un líquido concentrado con características propicias para el manejo agronómico, estos lixiviados se aprovechan por 23 días y alrededor de los 30 días se toman 4 muestras para el análisis en laboratorio de acuerdo a lo definido en la Tabla 2.

Caracterización y composición química del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional

Al relacionar los parámetros químicos del lixiviado agroecológico con el convencional se observan los índices más altos en el lixiviado convencional en contraposición con el agroecológico que presenta menor contribución como se evidencia en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis químico de lixiviados agroecológico y convencional

Parámetro	Lixiviado Agroecológico	Lixiviado Convencional	Unidades
Carbono Orgánico oxidable	2,66	8,99	g L-1
pH	7,67	7,71	
Conductividad eléctrica	0,04	0,17	dS m-1
Nitrógeno orgánico (NOrg)	0,53	1,93	g L-1
Fósforo soluble (P2O5)	0,17	0,27	g L-1
Potasio soluble (K2O)	3,29	33,7	g L-1
Calcio soluble (CaO)	0,42	0,62	g L-1
Magnesio soluble (MgO)	0,22	0,47	g L-1
Azufre soluble (S-SO4)	0,02	0,17	g L-1
Hierro soluble	0,06	0,14	g L-1
Manganeso soluble	0,9	4,8	p.p.m
Cobre soluble	3,8	0,9	p.p.m
Zinc soluble	1,9	2,8	p.p.m
Boro soluble	1,1	2,7	p.p.m
Sodio Soluble	0,16	0,243	g L-1

Para analizar el comportamiento de los parámetros químicos se presentan las Figuras 2, 3 y 4, las cuales permiten realizar una comparación de los niveles de cada parámetro medido. La Figura 2 muestra los niveles de la conductividad eléctrica para cada tipo de lixiviado, observándose que el lixiviado convencional presenta valores muy superiores a los que reporta el lixiviado agroecológico; analizando los niveles de del lixiviado convencional, si se parte de la situación práctica de

una eventual dilución, y sabiendo que un valor de 0,17 dS m⁻¹ no representa un problema, su dilución y aplicación con cierta precaución no representa un potencial salinizador del suelo al cual se aplica, pero aplicaciones frecuentes pueden llevar a una considerable adición de sales al suelo, lo cual generará problemas en la disponibilidad de agua para las plantas, debido al efecto de retención de agua por los complejos salinos que se agregan al suelo, con la aplicación de lixiviados.

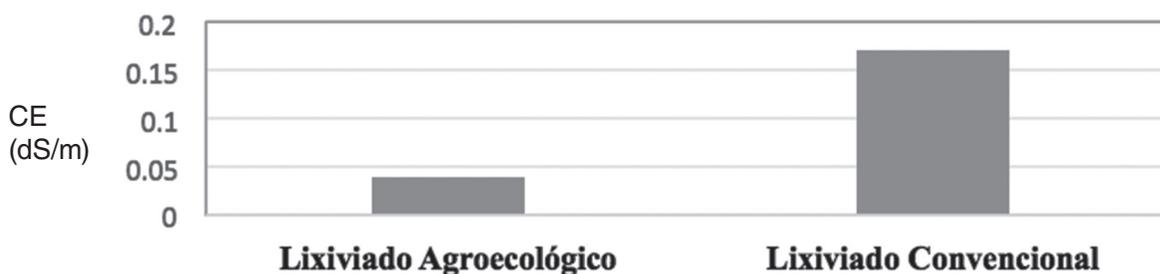


Figura 2. Conductividad eléctrica en los lixiviados agroecológico y convencional.

En el caso de los macroelementos, es marcada la diferencia del contenido de potasio en el lixiviado convencional que supera por amplio margen a los contenidos en el lixiviado agroecológico. Así mismo comparando los restantes macroelementos:

fósforo, calcio, magnesio, azufre y el hierro, expresados en unidades de g L⁻¹, puede observarse que el lixiviado convencional supera el contenido de los niveles de estos elementos en el lixiviado agroecológico como se observa en la Figura 3.

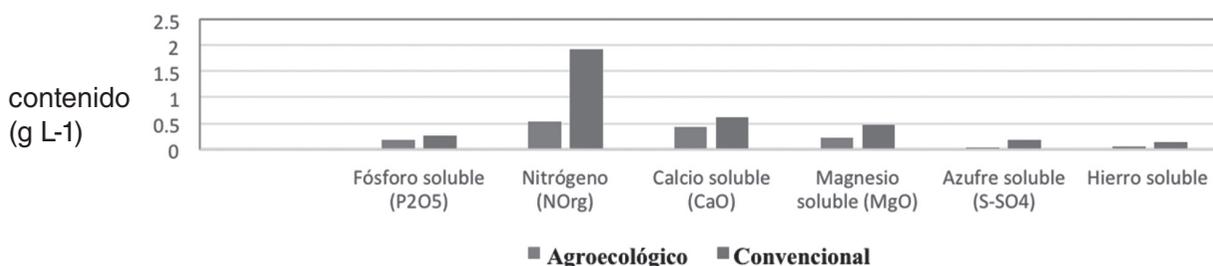


Figura 3. Contenido de macroelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

En el caso de los contenidos de microelementos (Figura 4) se evidencia que hay una marcada diferencia en los contenidos de cobre, donde el lixiviado agroecológico supera por amplio margen al

lixiviado convencional, contrario a esta situación los contenidos de manganeso, zinc y boro del lixiviado convencional superan a los valores de estos elementos en el lixiviado agroecológico.

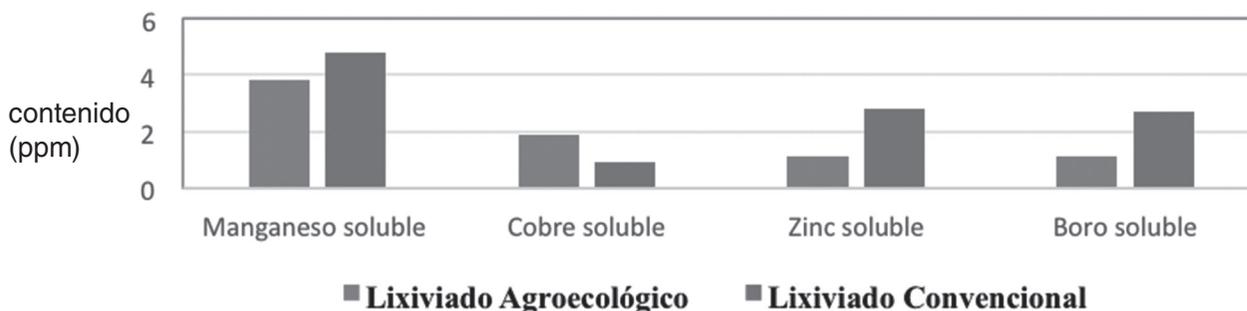


Figura 4. Contenido de microelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

Caracterización de metales pesados del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional

Al relacionar las concentraciones de metales pesados del lixiviado agroecológico y el convencional se observa que el lixiviado convencional presenta mayor concentración en cromo, plomo y cadmio,

como se relaciona en la Tabla 4. Al analizar uno a uno el comportamiento de los contenidos de metales pesados de los lixiviados se establece que el cromo y el plomo presentan mayor concentración en el lixiviado convencional, de igual manera en el lixiviado agroecológico el cromo presenta un índice alto, como lo muestra la Figura 5.

Tabla 4. Contenido de metales pesados de los lixiviados agroecológico y convencional

Parámetros	Lixiviado Agroecológico	Lixiviado Convencional	Unidades
Cromo	2,4	13,8	mg kg ⁻¹
Plomo	1	15	mg kg ⁻¹
Cadmio	0,26	0,47	mg kg ⁻¹

Estos datos se deben tener en cuenta si se utilizan estos residuos líquidos frecuentemente en aplicaciones al suelo y al cultivo, puesto que por

acumulación residual puede convertirse en una problemática ambiental y sanitaria para los seres humanos.

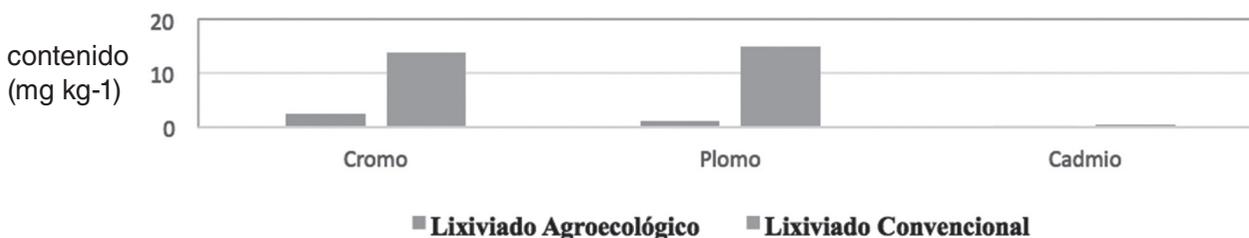


Figura 5. Contenido de metales pesados en los lixiviados agroecológico y convencional

Caracterización microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional

Al relacionar la densidad poblacional de bacterias, microorganismos solubilizadores de Fosforo, fijadores de Nitrógeno y los hongos *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp en el líquido agroecológico y el convencional, se observa que se presenta mayor densidad de éstos en el lixiviado agroecológico, adicionalmente en este líquido se presenta *Rhizopus* sp., importante para el proceso de reciclaje de materia orgánica. En cuanto a los microorganismos

patógenos se evaluaron *Salmonella*, Coliformes Fecales y *Pseudomona aeruginosa*, encontrando que en los dos lixiviados no hay presencia de salmonella, en tanto que en el lixiviado convencional no hay presencia de *Pseudomona aeruginosa*, pero si hay niveles de Coliformes Fecales y en el lixiviado agroecológico no hay presencia de *Pseudomona aeruginosa* ni de Coliformes fecales, datos que se deben tener en cuenta para la utilización en campo de estos líquidos residuales. En la Tabla 5 se presenta la relación microbial de los dos lixiviados.

Tabla 5. Composición microbiológica de los lixiviados agroecológico y convencional

Parámetros	Lixiviado Agroecológico	Lixiviado Convencional	Unidades
Solubilizadores de Fosforo	21x 10 ⁵	21x 10 ⁴	UFC g ⁻¹
Fijadores de Nitrógeno	31x 10 ⁴	61x 10 ³	UFC g ⁻¹
Penicillium sp	72x 10 ²	50x 10 ²	UFC g ⁻¹
Aspergillus sp	10x 10 ¹	40x 10 ²	UFC g ⁻¹
Rhizopus sp	10x 10 ²	ND.	UFC g ⁻¹
Salmonella	AUSENCIA	AUSENCIA	A / P
Coliformes fecales		2000	UFC g ⁻¹
Pseudomona Aeruginosa	AUSENCIA	AUSENCIA	A / P

Discusión

Respecto a la estructura física para el manejo de residuos sólidos y captación de lixiviados se debe resaltar que el compost debe contar con un manejo apropiado de humedad y oxígeno para mantener la actividad microbiana (Bonilla & Mosquera, 2007). En la presente investigación se evidencia que la disposición del material de origen vegetal y animal a compostar es fundamental para alcanzar los niveles óptimos y máximos de temperatura y humedad, así como la oxigenación

de los residuos y la inocuidad del material; si se garantiza una estructura que permita concentrar estos factores se logra obtener compost en la octava semana con recirculación de lixiviados y obtención de un líquido concentrado, hacia la semana 5 disminuye en un 80% la lixiviación, y hacia las semanas 6 y 7, la compostera deja de producir líquidos residuales, los cuales han sido previamente canalizados y reutilizados en el mantenimiento de la misma.

Tabla 6. Características de la compostera en pila

Efecto apreciado compostera en pila
La temperatura de la pila no supera los 45°C
La pila está muy humedad o muy seca, no hay distribución de la humedad
No hay oxigenación por tanto comienza a oler fuerte
Permite albergar plagas
No es inocuo y su manejo es deficiente

Fuente: (Adaptado de Kiely, 1999)

En cuanto a la caracterización y composición química del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar que el lixiviado convencional presenta niveles más altos en los parámetros químicos analizados, con

respecto al lixiviado agroecológico, se estima que, posiblemente, es por las múltiples aplicaciones de residuos vegetales del compost convencional, ya que su procedencia es de cultivos de rosas donde los elementos más utilizados para su desarrollo y

crecimiento vegetal son el potasio y el calcio, entre otros. Healy & Wilkins (1985), manifiestan que por el alto requerimiento de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (NPK-Ca) en el cultivo de arlstroemeria, rosa y otras especies, los suelos quedan empobrecidos, es por esto que se realiza constante aplicación de fertilizantes químicos, con el consiguiente incremento de los costos de producción y serios problemas de impacto ambiental. Esta concentración puede ser favorable para las plantas, pero por lo general los lixiviados no son utilizados de manera adecuada, lo cual puede constituirse en determinado momento en un problema ambiental si estos líquidos llegan a fuentes hídricas o saturan los suelos y finalmente por filtración llegan a las aguas subterráneas y/o cuerpos de aguas.

La conductividad eléctrica (CE) en los niveles encontrados en los dos lixiviados no representa en el momento una limitante, sin embargo, si se consideran aplicaciones frecuentes de estos residuos puede convertirse en un problema para los suelos, por la concentración de sales ya que a medida que el suelo está seco la CE del suelo aumenta. Es de anotar que para el fin investigativo futuro estos lixiviados se utilizarán en dilución según los datos que se recojan de la evaluación en campo, por tanto si estos lixiviados no son conducidos para su posterior reutilización llegarían al suelo de manera directa y en mayor concentración, dando paso así al desequilibrio planta-suelo. Cualquier elemento puede convertirse en tóxico para la planta si su concentración en la solución del suelo es alta, o si se encuentra en desequilibrio con otros elementos (Gat fertiliquidos, 2006).

Respecto a la caracterización de metales pesados del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar cómo la acumulación de metales pesados es una de las más alarmantes consecuencias que trae el no conducir, tratar y aprovechar los lixiviados correctamente, de ahí la importancia de conocer la procedencia y las características físico químicas y microbiológicas que tienen estos residuos líquidos. Los componentes de los lixiviados pueden ser

movilizados hacia el suelo, estar en posición de ser absorbidos por las plantas o perfusionar hacia los mantos acuíferos y afectar los suministros de agua potable (Álvarez, Mochon, Sánchez & Rodríguez, 2002). Los metales pesados pueden ingresar a las redes tróficas y ocasionar, en primera instancia, bioacumulación y una posterior biomagnificación a través de los niveles tróficos superiores (González, Tornero, Cruz & Bonilla, 2009). En esta investigación se evidencia que la mayor concentración de metales pesados se presenta en el lixiviado convencional en los tres elementos evaluados: cromo $13,8 \text{ mg kg}^{-1}$, plomo 15 mg kg^{-1} y cadmio $0,47 \text{ mg kg}^{-1}$; posiblemente estos niveles son altos por el programa de mirfe y mipe que manejan los cultivos de flores, origen del material, lo cual ocasiona un problema ambiental en la región ya que estos lixiviados no son canalizados y tratados de forma adecuada. Teniendo en cuenta lo anterior se observa que los niveles de metales pesados en el lixiviado agroecológico están presentes en una baja concentración, pero persisten y esto puede deberse a los tipos de materia orgánica presentes en el proceso de compostaje y los cuales tienen influencia en la toxicidad de los metales pesados.

Los lixiviados contienen concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, sustancias orgánicas, nutrientes y metales pesados así como sales inorgánicas que elevan la conductividad eléctrica y generan agentes infecciosos (Wiszniewski *et al.*, 2006). En la investigación “Determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación” de María del Consuelo Hernández Berriel (2012), se menciona que la recirculación de los líquidos residuales en la compostera es clave para la disminución del contenido de metales pesados tanto en el producto sólido como en el líquido del compost, se apoyan en lo mencionado por Kabata-Pendias & Pendias, 1984, Cala & Rodríguez, 1989, que el alto contenido de materia orgánica (MO) puede favorecer la reducción del plomo y también su movilidad, atribuida a la lixiviación del metal como un

complejo quelatado soluble con la MO, así mismo otros elementos presentan estas características al recircular los lixiviados en el compost proporcionando una humedad constante.

Conociendo la problemática ambiental, sanitaria y fitosanitaria del manejo de residuos orgánicos se observa que la información existente para fertilizantes líquidos de origen del proceso de compostaje es muy básica y sólo se aplica a productos de mezcla con residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente). La Norma Técnica Colombiana 5167 (primera actualización de mayo 31 de 2004) establece los requisitos específicos de calidad para productos utilizados como fertilizantes o abonos orgánicos-minerales líquidos, los límites máximos de metales pesados no aplican para uso y se basan en la concentración permisible de Cadmio (Cd) 39, Cromo (Cr) 1200, 420 Plomo (Pb) 300 Se indicará la materia prima de la cual procede el producto. Con base en ello es necesario remitirse al Decreto 1594 de 1984 que tiene en cuenta el uso del agua con los criterios admisibles en la destinación del recurso para uso agrícola expresado como Valor Cadmio Cd 0.01 Cromo Cr + 6 0.1 y Plomo Pb 5.0, retomando estos valores, se observa que los límites admisibles de mayor concentración se encuentran en el lixiviado agroecológico.

Respecto a la caracterización microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar que la Norma Técnica Colombiana 5167, no es específica frente a la caracterización microbiológica de los abonos líquidos, solamente tiene en cuenta los niveles máximos de patógenos. Los fertilizantes y acondicionadores orgánicos de origen no pedogenético deberán demostrar que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: (1) *Salmonella* sp.: ausentes en 25 g de producto final; (2) Enterobacterias totales: Menos de 1000 UFC g⁻¹ de producto final. Con respecto al Decreto 1594 de 1984, sobre uso del agua y límites admisibles para la destinación del recurso para uso

agrícola, solamente el NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutales que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto; así mismo el NMP de coliformes fecales no deberá exceder 1.000, retomando la norma y el decreto se observa que el lixiviado convencional presenta un exceso de coliformes fecales y coliformes totales. Se podría atribuir este fenómeno a las aguas de riego que se utilizan en el cultivo del cual proviene el material vegetal, puesto que está ubicado cerca a los límites del río Bogotá (municipio de Facatativá) y las aguas provienen de pozo profundo.

Se presenta en el lixiviado agroecológico *Pseudomonas aeruginosa* evaluada a nivel cualitativo con el método de INVIMA, en los límites admisibles para la utilización de lixiviados o aguas para uso de riego no menciona este patógeno, pero revisando la recopilación normas microbiológicas y parámetros físico-químicos relacionados de Bilbao se encuentra que los límites o la restricción de éstos se halla direccionada para aguas envasadas: minerales naturales, de manantial y preparadas en el interior de los envases y aguas de consumo público envasadas en el interior de los envases (De Pablo & Moragas, 2008, p. 5).

En cuanto a los microorganismos solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno se observa que los niveles más altos se encuentran en el lixiviado agroecológico con 21×10^5 y 31×10^4 con respecto al convencional que se caracterizó por tener un valor menor. Fernández & Rodríguez (2006) mencionan que la presencia de estas bacterias en el suelo aumentan la cantidad de diferentes iones, uno de éstos es el fósforo que al ser hidrolizado con enzimas como las fitasas, facilitan la movilidad de este elemento en el suelo y lo transforman en un compuesto accesible para la planta.

Makarewicz *et al.* (2006) realizaron una investigación dirigida a la fitasa, en el cual encontraron que varias cepas de *Bacillus* spp secretaban dicha sustancia; una enzima que cataliza la desfosforilación de mioinositol (fitato), siendo esta la forma

de almacenamiento del fosfato en las plantas, además se evidenció que dicha enzima tiene capacidad para hacer de este fitato, fósforo disponible permitiendo que esta actividad sea llevada a cabo por las bacterias que se encuentran en la rizósfera tales como; *Pseudomonas*, *Klebsiella* y *Bacillus* spp. Con base en estas y en las investigaciones existentes de microorganismos que crecen en estos medios se puede afirmar que son parte fundamental e indispensable en la interacción química, física y biológica del suelo, los microorganismos intervienen en el proceso de transformación de fosforo y asimilación del nitrógeno permitiendo su disponibilidad en el suelo y por ende en las plantas, estos se constituyen en una alternativa para reducir la contaminación ambiental y mejorar la nutrición y crecimiento de plantas lo cual redundara en la productividad de los cultivos. En cuanto a *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp y *Rhizopus* sp indican que hay presencia de microorganismos que pueden beneficiar el desarrollo del cultivo, por tanto Blandón menciona que la identificación de la microflora presente en el compostaje, permite realizar el estudio de las funciones específicas de cada grupo de microorganismos y determinar su acción potencial en el área de la nutrición vegetal, cuando el producto es agregado al suelo (Blandón *et al.*, 1998). En el caso de *Rhizopus* desempeña un papel importante en el reciclaje de materia orgánica y la transformación de ésta, *Aspergillus* y *Penicillium* permiten la transformación, asimilación y disponibilidad de nitrógeno, fósforo, Estos microorganismos descomponen minerales de aluminosilicatos y liberan parte del potasio contenido en ellos, de igual manera intervienen en la degradación de aminoácidos hasta obtener sulfatos.

Conclusiones

La disposición de los residuos orgánicos y el manejo adecuado de estos permitió evidenciar en la presente investigación que se alcanzan los niveles óptimos de temperatura y humedad para acelerar el proceso de transformación de la materia y la obtención de un producto inocuo para futuras aplicaciones agrícolas.

La utilización de material vegetal de cultivos agroecológicos en el compostaje, asegura que los niveles de metales pesados en el lixiviado sean más bajos que los de procedencia convencional.

El material vegetal de origen agroecológico permite que la comunidad microbiana sea más alta logrando aprovechar así las interacciones de elementos mayores y menores y el potencial de los microorganismos para transformar movilizar y permitir la disponibilidad de estos a la planta.

La recirculación de los lixiviados es clave para la disminución de las concentraciones de metales pesados en los productos finales del compostaje.

La canalización y aprovechamiento de los lixiviados del proceso de compostaje permite minimizar el impacto ambiental tanto a nivel atmosférico, suelos y fuentes hídricas.

Conocer la caracterización de los lixiviados proporciona al agricultor una herramienta para potencializar, mejorar la productividad de los cultivos y disminuir los problemas fitosanitarios, evitando la contaminación de los suelos y/o espejos de agua.

Literatura citada

1. Álvarez, E., Mochon, M., Sánchez, J. & Rodríguez, M. (2002). Heavy metals extractable form in sludge from wastewater treatment plants. *Chemosphere* 47, 765-775.
2. Bastida, F., Moreno, J.L., Hernández, T. & García, C. García (2007). Microbial activity in non-agricultural degraded soil exposed to semiarid climate. *Sci. Total Environ.* 378: 183-186
3. BID, POS/OMS (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe.
4. Bonilla, M. & Mosquera, M. (2007). Seguimiento de la presencia de rotavirus en un proceso de compostaje realizado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y contenido ruminal. (tesis de pregrado) Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana.
5. Blandón Castaño, G., Rodríguez Valencia, N. & Dávila Arias, M. T. (1998). Caracterización Microbiológica y Físico-Química de los Subproductos del Beneficio del Café en Proceso de Compostaje. *Cenicafé*

6. Cala, V. & Rodríguez, J. (1989). —Estudio de la contaminación por metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. I y III. *Anal. Edaf. Agrobiol.* Vol. 49(9-10). 1989. pp.189-193.
7. Decreto 1594 de 1984. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>
8. De Pablo, M.B. & Moragas, M. (2008), Recopilación normas microbiológicas y parámetros físico-químicos relacionados. Bilbao.
9. EOT Anolaima (2002). Plan integral único municipio de Anolaima. periodo 2008-2011.
10. Fernández, M.T. & Rodríguez, H. (2006). Aplicaciones biológicas de las fitasas: papel en los fertilizantes microbianos. ICIDCA [En línea] Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664004>
11. García, I. C. (2011). Fertilización orgánica con compost y té de compost: su aplicación al suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA.21 de Octubre de 2011. Proyecto BIOMUSA. 1. Recuperado de: <http://ecopalmer.es/resources/Fertilizacion+org%C3%A1nica+con+composts+y+t%C3%A9+de+compost..pdf>.
12. Gat fertilizados. (2015). Recuperado de: http://www.gatfertilizados.com/salinidad_cultivos.pdf
13. González, E., Tornero, A., Cruz, A. & Bonilla, N. (2009). Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Rev. Int. Contam. Ambiente.* 25, 15-22.
14. Healy, W.E. & Wilkins, H.F. (1985). Arlstromería culture. *Minnesota State Florists Bulletin*, Vol. 33, No. 3.
15. Hernández B. M. (2012). Determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación.
16. Instituto Colombiano de Norma Técnicas y certificación. (2004) Norma Técnica Colombiana – NTC 5167, Bogotá, ICONTEC.
17. Kabata-Pendias A. & Pendias H. (1984). Trace elements in soils and plants. CRC Press., Florida, 150 pp.
18. KIELY, Gerard, 1999. Ingeniería Ambiental: Fundamentos en tornos, tecnologías y sistemas de gestión: Mc Graw Hill, Vol. II: 1ra Edición: Madrid – España
19. Lombricol.com (2012). Recuperado de: <http://lombricol.blogspot.com.co/2009/09/foiar-fertilizante-liquido-de-lombriz.html>
20. Makarewicz, O., Dubrac S. *et al.* (2006). Dual Role of the PhoP-P Response Regulator: *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 Phytase Gene Transcription Is Directed by Positive and Negative Interactions with the phyC Promoter, [En línea] Recuperado de: <http://jb.asm.org/content/188/19/6953.abstract>
21. Roldan, A., f. Caravaca, T. Hernandez, C. Garcia, A. Sanchez-Brito, C Velazquez & M.Tiscareño (2003). No-Tillage, Crop Residue Additions, and Legume Cover Cropping Effects on Soil Quality Characteristics Under Maize in Patzcuaro Watershed (Mexico). *Soil Tillage Res.* 1786: 1-9.
22. Wiszniowski J., Robert D., Gorska J., Miksch K. & Weber J. —Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett.* 2006.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

