

# DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN EL COMPOST FABRICADO A PARTIR DE PLUMAS DE GALLINA Y DESECHOS SÓLIDOS DE AGUA RESIDUAL DE VENTAQUEMADA (BOYACÁ)

SÁNCHEZ RINCÓN, Elizabeth<sup>1</sup>

PARRA ALBA, Joel David<sup>2</sup>

GARCÍA MOLANO, José Francisco<sup>3</sup>

Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Recibido: 16/10/2016

Aceptado: 11/01/2017

## RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad determinar el contenido de Cr, Cd y Pb, principales metales utilizados en la fabricación de pesticidas empleados frecuentemente en los cultivos de papa y zanahoria; estos compuestos permanecen en los desechos sólidos del agua residual, dado que no se degradan rápidamente o si lo hacen partes de la molécula quedan adheridas a las partículas de suelo o moléculas de materia orgánica; ante esta situación fueron sometidas al proceso de compostaje, mezcladas con materiales orgánicos (plumas, estiércoles, aserrín de madera). El estudio estuvo compuesto de 5 tratamientos con 3 repeticiones, conjuntamente se realizaron mediciones de pH y T° durante el transcurso del proceso. Culminado el compostaje, se tomaron muestras de cada pila para ser analizadas en laboratorio; los resultados arrojaron que el comportamiento de la T° tiene diferencias significativas entre tratamientos, con respecto al comportamiento del pH y presencia de metales pesados. El ensayo no reportó diferencias significativas. Aunque todos reportaron metales pesados, sus valores son muy bajos respecto a la norma 5167 del ICONTEC, por consiguiente se considera un compost inocuo para su utilización como enmienda orgánica.

**Palabras clave:** Inocuidad, descomposición, materia orgánica, abono orgánico, agua residual.

- 1 Ingeniera Agropecuaria, Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
- 2 Estudiante de Ingeniería Agropecuaria, Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
- 3 Ingeniero Agrónomo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ph. D. en Biología Vegetal, Università Degli Studi di Parma. Docente Facultad Ciencias Agrarias y Ambientales, Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Jfgm29@hotmail.com.

## DETERMINATION OF THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE COMPOST MADE FROM HEN FEATHERS AND SOLID WASTES FROM THE WASTEWATER OF VENTAQUEMADA (BOYACÁ)

### ABSTRACT

The purpose of the research was to determine the content of Cr, Cd and Pb, the main metals used in the manufacture of pesticides frequently used in potato and carrot crops; these compounds remain in the solid waste of wastewater, since they do not degrade quickly or if they make parts of the molecule adhere to soil particles or organic matter molecules; in this situation they were subjected to the composting process, mixed with organic materials (Feathers, manure, wood sawdust). The study was composed of 5 treatments with 3 repetitions, together pH and T° measurements were made during the course of the process, after composting, samples were taken from each pile to be analyzed in the laboratory, the results showed that the behavior of T° has meaningful differences between treatments, regarding the behavior of pH and the presence of heavy metals, the test did not report significant differences, although all reported heavy metals, their values are very low compared to INCONTEC standard 5167, therefore it is considered a harmless compost for its use as an organic amendment.

**Keywords:** Harmlessness, Decomposition, Organic matter, Organic fertilizer, Wastewater.

## DÉTERMINATION DU CONTENU DE MÉTAUX LOURDS DANS LE COMPOST DE PLUMES DE POULET ET DE DÉCHETS SOLIDES FABRIQUÉS PAR LES EAUX USÉES DE VENTAQUEMADA (BOYACÁ)

### RÉSUMÉ

L'objectif de la recherche avait comme but de déterminer la présence de Cr, Cd et Pb, les principaux métaux utilisés dans la fabrication des pesticides qui sont fréquemment utilisés dans les cultures de pommes de terre et carottes ; ces composés restent dans les déchets solides des eaux usées, étant donné que leur dégradation ne s'effectue pas rapidement et que, si des particules du sol ou de la matière organique se forment, dans ce cas, ils sont alors soumis au processus du compost, en mélange avec les matières organiques (plumes, lisier et sciure de bois). L'étude était composée de 5 traitements avec 3 répétitions, des mesures de pH et de T° ont été effectuées au cours du processus, après compostage, des échantillons ont été collectés sur chaque tas pour être analysés dans le laboratoire, les résultats montrent que le comportement du T° est différent de façon significative en fonction du pH et la présence des métaux lourds, le test ne fait état de différences significatives, mais les métaux lourds déclarés sont très faibles en comparaison des normes INCONTEC 5167, leur contenu est donc considéré comme un compost non dangereux pour une application organique en amendement.

**Mots clés:** Innocuité, Décomposition, Matière organique, Compost organique, Eaux usées.

## DETERMINAÇÃO DO TEOR DE METAIS PESADOS NO COMPOSTO FABRICADO A PARTIR DE PENETES DE FRANGO E EFLUENTES DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE VENTAQUEMADA (BOYACÁ)

### RESUMO

O objetivo da pesquisa foi determinar o teor de Cr, Cd e Pb, os principais metais utilizados na fabricação de pesticidas frequentemente utilizados em lavouras de batata e cenoura; estes compostos permanecem nos resíduos sólidos das águas residuais, já que eles não se degradam rapidamente ou se o fazem, partes da molécula permanecem ligadas a partículas do solo ou moléculas de matéria orgânica; antes desta situação, eles foram submetidos ao processo de compostagem, misturado com materiais orgânicos (penas, esterco, serragem de madeira). O estudo consistiu de 5 tratamentos com 3 repetições, foram feitas as medições de pH e T durante o processo, a compostagem foi concluída, amostras foram retiradas de cada pilha para serem analisadas em laboratório, os resultados mostraram que o comportamento do T apresenta diferenças significativas entre os tratamentos, no que diz respeito ao comportamento do pH e presença de metais pesados, o ensaio não relatou diferenças significativas; Embora todos relatem metais pesados, seus valores são muito baixos em relação à norma 5167 do INCONTEC, portanto, é considerado um composto inofensivo para seu uso como uma emenda orgânica.

Palavras-chave: Segurança, Decomposição, Matéria orgânica, Fertilizante orgânico, efluente.

### INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas, los residuos agroindustriales como: hojas, tallos, vainas, cañas, pajas, cáscaras, plumas, pelo, contenido ruminal, estiércoles, aguas residuales y lodos, han sido un foco de atención para varios investigadores a nivel mundial, debido a que parte de sus constituyentes pueden ser materia prima para generar diversos productos de interés. Esta situación sigue prevaleciendo en la actualidad y se prevé que continuará en el futuro (Saval, 2012).

En la actividad de lavado de zanahoria que se realiza en la vereda Puente de Boyacá, municipio de Ventaquemada (Boyacá), se producen grandes cantidades de lodo (mezcla de tierra y agua), aproximadamente 24 toneladas mensuales (Benavidez & Sánchez, 2013), generando malos olores, partículas volátiles y lixiviados que llegan a las fuentes hídricas durante su degradación; además, estos se incorporan al suelo

sin ningún tipo de tratamiento y desconociendo su composición química y microbiológica, lo que afecta la calidad del suelo y el cultivo, caso similar ocurre con las plumas procedentes del sacrificio de gallina en la vereda Parroquia Vieja del municipio de Ventaquemada, en la cual se producen 900 kg semanales de plumas (Hernández, 2013). Estas son incorporadas al suelo sin ningún tratamiento, generando contaminación edáfica por los lixiviados producidos durante su degradación, microorganismos patógenos, metales pesados, sales, entre otros; pero, teniendo en cuenta las características físicas químicas y microbiológicas, se incorporaron a un abono orgánico fabricado con estiércoles por la empresa Victoria Granja Agroecológica.

De las plumas y lodos se desconoce la presencia de partículas contaminantes, y para el caso de los residuos sólidos de agua residual, es importante conocerlas porque este proviene del suelo que ha sido cultivado con zanahoria y previamente papa, recibiendo gran cantidad

de moléculas de herbicidas, insecticidas, fungicidas, que contienen algunos metales pesados y que, en muchos casos, no han logrado ser degradados o transformados en otras moléculas por la interacción de microorganismos presentes en el suelo (Atlas & Bartha, 2002).

Por esta razón, la investigación buscó conocer la composición en cuanto a metales pesados, principalmente Cd, Cr y Pb, debido a su toxicidad y su tendencia a acumularse en los sistemas biológicos, y porque representan un riesgo para la salud humana y los ecosistemas, aun en bajas concentraciones (Miralles *et al.*, 2002).

## METODOLOGÍA

El ensayo se llevó a cabo en Victoria granja agroecológica, ubicada en la vereda de Supatá del municipio de Ventaquemada, a 2630 m s. n. m. con temperatura promedio de 8-14 °C con precipitación anual 1.367 mm y humedad relativa entre 70-90 %.

El estudio se realizó al azar, con 5 tratamientos y 3 repeticiones en pilas de 600 kg, se adicionaron desechos sólidos de agua residual o lodos y plumas de gallina en diferentes porcentajes, al abono orgánico Victoria Granja Agroecológica.

**Tabla 1.** Cantidad en porcentaje de plumas, abonos y lodos por unidad experimental.

Tratamiento	Plumas	Abonos Victoria granja	Desechos sólidos de agua residual (lodos)
T1	50 %	50 %	-
T2	-	50 %	50 %
T3	25 %	50 %	25 %
T4	50 %	-	50 %
T5	-	100 %	-

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2.** Composición promedio abonos y lodos.

Parámetro	Abono Victoria Granja	Lodos	Unidad
Fósforo total	2,89	0,0087	%
Potasio	2,14	0,15	%
Magnesio	0,14	0,02	%
Calcio	7,50	0,19	%
Densidad	0,37	-	g/cm <sup>3</sup>
Humedad	20	-	%
CRH	100,55	-	%
pH	7,96	6,0	-
CIC	37,54	15,82	meq/100g
COO	15	6,1	%
C/N	18,98	11,5	-
Cd	<0,003	-	Ppm
Cr	65,5	-	Ppm
Pb	5,28	-	Ppm

Fuente: elaboración propia.

Durante el transcurso del proceso de compostaje, se registró la temperatura y pH. Igualmente, se realizó volteos cada 20 días, una vez finalizado el proceso (3 meses), se tomaron muestras de 500g en cada pila para el análisis Cr, Cd y Pb en laboratorio; la determinación de la presencia de los metales se hizo a través de absorción atómica en el laboratorio del Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares GIEM de la Universidad de Antioquia. A los resultados, se les realizó prueba de normalidad de Shapiro Wilk, homogeneidad de varianzas, Barleth, prueba de comparación de medias de Turkey, y ANOVA, para determinar la normalidad y homogeneidad de los datos. Para lo cual, se utilizó el programa R versión 3.1.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comportamiento térmico y del pH durante el proceso de compostaje

El comportamiento de la Temperatura en el tiempo mostró diferencia significativa entre tratamientos ( $P < 0,05$ ). El cual no superó los 50

°C como se indica en la Figura 1, esto coincide con Moreno & Moral (2007), quienes sugieren una temperatura óptima de 45 a 59 °C para las pilas de compostaje; por el contrario, Kiely (1999) afirma que si se logra sostener la temperatura por encima de 55 °C durante al menos dos semanas o por encima de 70 °C durante una hora, se lograría una eficiente remoción de patógenos; por otra parte, la temperatura en las pilas acelera el proceso de mineralización liberando cationes que se pueden expresar; por otro lado, el pH registrado favorece (Méndez, Carrillo, Monroy & Levresse, 2012).

Ninguno de los tratamientos logró esta temperatura, debido al tamaño de la pila, ya que según Navarro (2003), las pilas de compost deben ser mayores de 1 m<sup>3</sup> para poder alcanzar condiciones termofílicas y para el presente estudio se realizaron pilas de 600 kg. Además, Laos *et al.* (2000) mencionan que la etapa termófila es independiente de la temperatura ambiente, aunque en condiciones de extrema humedad e intensas precipitaciones de agua o nieve pueden retrasar el proceso. No obstante, ninguno de los tratamientos reportó patógenos de acuerdo con los resultados de Aldana (2015); sin embargo, en el producto final se reportan microorganismos

promotores de crecimiento vegetal como *Pseudomonas* y *Bacillus* (Ayala, 2015); las poblaciones microbianas como la *Pseudomonas* remueven fosfatos de compuesto inorgánicos, donde puede existir trazas de metales pesados que serían liberados por estos organismos (Vullo, 2003). Además, han sido reportadas como tolerantes a metales pesados (Gutiérrez, Navarro, Loeza, Guadalupe & Jiménez, 2017).

Vale la pena resaltar que T4 correspondiente a la mezcla de plumas y desechos sólidos de agua residual, mantuvo la temperatura más alta durante del proceso y se encuentra 3 °C por encima de T1, T2, T3 y T5 en la semana 12. Este comportamiento obedece a que la pérdida de humedad de este tratamiento fue más lenta, debido a que ambos materiales retienen agua como lo indica Moreno & Moral (2007), en el caso de los desechos sólidos de agua residual que retienen hasta un 95 % de humedad, lo cual disminuye los espacios vacíos para la transferencia de oxígeno y genera una descomposición más lenta en el tiempo y descenso de la temperatura.

Igualmente, el T4 presenta mayor peso y menor volumen, lo que indica valor de densidad

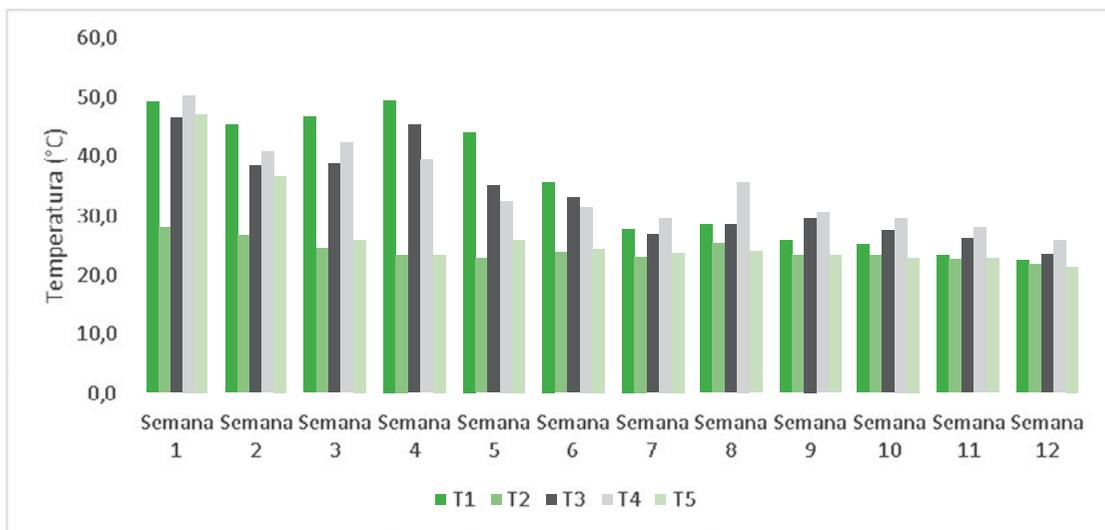


Figura 1. Comportamiento de la Temperatura (°C).  
Fuente: elaboración propia.

más alto, teniendo en cuenta que es la mezcla 50 % lodos y 50 % plumas que en el proceso de descomposición reducen el volumen, mientras que al mezclar los desechos sólidos de agua residual con el abono de Victoria granja agroecológica correspondiente a T2. La retención de agua se aumenta por las arcillas y materia orgánica que reportó un valor del 100,55 % de CRA, lo hace menos suelto por la cantidad de agua que retiene, ocasionando que no se eleve la Temperatura como lo indica Jerys & Regan (1973), porque la densidad aparente aumenta o disminuye dependiendo del grado de humedad de la mezcla; en un estudio realizado por Varnero, Galleguillos & Rojas (2011), donde se mezclaron diferentes materiales para compostar como: desechos de la extracción de aceite de oliva que tienden a compactarse y por tanto a formar conglomerados que impiden una adecuada aireación, lo que repercute en el descenso de la temperatura.

## pH

Para el caso de pH, los tratamientos muestran valores iniciales de 8.2 para T1, que corresponden a muy alcalino y valores entre 7.4 y 7.8 para los demás que se clasifican como alcalino (Tabla 3). El T1 continua con la tendencia de pH muy alcalino, pero al final del ensayo cuando el compost se estabilizó su pH fue de 7.5, siendo el valor más alto, mientras que para T2 que es el valor más bajo 6.8, que corresponde a neutro o casi neutro, lo que puede obedecer a que el pH del lodo es 6,0 y el de abono de victoria granja agroecológica de 7,0 lo que provoca este comportamiento; sin embargo, los tratamientos T3 y T5 tienen valores que corresponden a pH neutro o casi neutro, estos valores son similares a los reportados por Torres *et al.* (2005), quienes evaluaron el proceso de compostaje aerobio con volteo manual, de los lodos generados

en la planta de tratamiento de aguas residuales cuyos resultados de pH se mantuvieron en un rango de 6,7 y 8.0 como ocurrió en el presente estudio, corroborando lo que afirman Kiely (1999) y Moreno & Moral (2007), que esta variable debe oscilar entre 6.5 y 8.0.

Tabla 3. Resultado del pH en los tratamientos.

TRATAMIENTO	MES 1	MES 2	MES 3
T1	8.2	8.1	7.5
T2	7.4	7.1	6.8
T3	7.7	7.7	6.9
T4	7.8	7.1	7.1
T5	7.5	7.6	7.2

Fuente: elaboración propia.

El pH es una variable para la disposición de los metales, y de este valor depende que estén disponibles, se precipiten e inmovilicen; al respecto, García *et al.* (2000) afirman que la mayoría de los metales son disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, que se movilizan a pH alcalino. Eso significa que en el T1 el Cr sería un elemento disponible para la planta, mientras que el Pb y Cd en ninguno de los tratamientos están disponibles, porque el pH es neutro o casi neutro.

No obstante, a valores moderadamente altos se produce la precipitación como hidróxidos y en medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. Para Vargas (2014), en un pH bajo se produce desorción de los metales pesados, aumentando su concentración en la solución del suelo y su biodisponibilidad, pero si por el contrario se aumenta el pH como ocurrió en el presente ensayo, los metales pesados son removidos de la solución suelo y adsorbidos por los coloides disminuyendo la disponibilidad por acción microbiana.

### Comportamiento de Cd, Cr y Pb en los Tratamientos

**Tabla 4.** Resultados del contenido de metales pesados en los tratamientos.

TRATAMIENTO	CADMIO (ppm)	CROMO (ppm)	PLOMO (ppm)
T1	0,111	41,222	4,306
T2	0,111	32,694	6,910
T3	0,002	35,632	5,881
T4	0,002	26,293	7,723
T5	0,002	39,525	6,264

Fuente: elaboración propia.

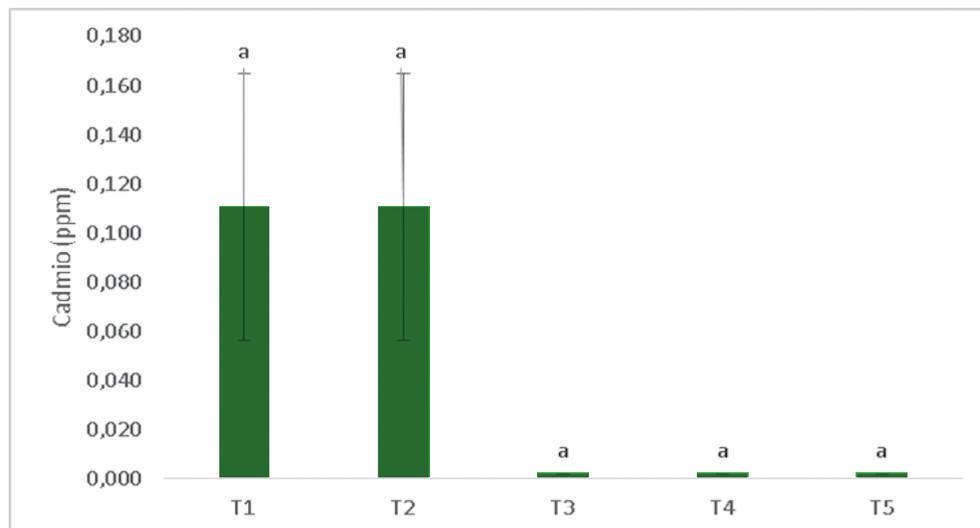
### Cadmio (Cd)

Para la variable Cadmio, se realizó un análisis no paramétrico, donde el Anova indica que no hay diferencia significativa con un valor de significancia mayor a 0,05.

Los T1 y T2 reportan presencia de Cd (Tabla 4), los cuales no superan los parámetros de la Norma 5167 del INCONTEC que corresponden a 39 ppm, la presencia del elemento parece no

provenir de los desechos sólidos de agua residual, debido a que estos reportan valores bajos de 0.002 a 0.11 ppm, lo que coincide con un estudio realizado por Acosta *et al.* (2006), en donde se reportan valores muy bajos de este metal. Igualmente, en el presente estudio el origen del elemento tampoco corresponde al abono de la Victoria granja agroecológica (T5), el cual no contiene este metal; sin embargo, aparece en T2 aunque los valores son muy bajos. Una posible explicación puede ser que este lo contengan las plumas que vienen en la gallinaza con que se prepara el abono de Victoria granja agroecológica.

Según Ávila *et al.* (2006), la fibra de pluma puede ser usada como absorbente de Cadmio en soluciones acuosas; de otra parte, un estudio realizado por Pérez *et al.* (2005) analizó la presencia de Cadmio en hígado y plumas de aves, dando como resultado un valor de 0,30 ppm contenido del metal tanto en hígado como en pluma. Al respecto, Estrada & Soler (2014) afirman que los niveles de estos metales pesados, que se pueden cuantificar en el plumaje, reflejan los niveles sanguíneos de dichos elementos durante el corto periodo de crecimiento de la pluma, que



**Nota.** Letras iguales significan que no hay diferencias significativas y las barras indican el error estándar.

**Figura 2.** Contenido de Cadmio en los tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

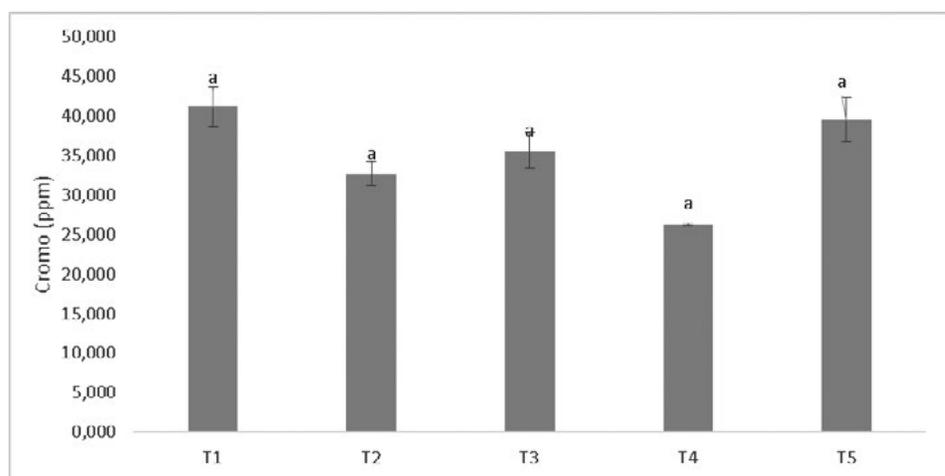
está conectada con los vasos sanguíneos y los metales se incorporan en la queratina.

Para el caso del T3, T4 y T5, se reporta un valor por debajo de 0,002 ppm de Cd (Figura 2) y a pesar de que contengan pluma y abono el contenido del metal no es suficiente para ser detectado o se presume que este metal bajo condiciones oxidantes se libere como  $Cd^{2+}$ ; esto debido a la alta movilidad del  $Cd^{2+}$  como lo afirma González & Bauza (2010), por lo que se atribuye a la acidez o alcalinidad del producto; así, por ejemplo, a valores de pH menores de 6 el  $Cd^{2+}$  se adsorbe débilmente en la materia orgánica, arcillas y óxidos, mientras que para valores de pH mayores de 7 el  $Cd^{2+}$  puede precipitar con  $CaCO_3$ , de acuerdo con los mismos autores o como  $CdCO_3$  lo que puede estar ocurriendo debido a que a la gallinaza le agregan carbonato de calcio para sanitizarla.

El análisis estadístico no mostró diferencia significativa en ninguno de los tratamientos con respecto a Cromo, con un  $P > 0,05$ .

## Cromo

Es el metal de mayor presencia en los tratamientos, donde el T1 muestra el valor más alto con 41,222 ppm, debido a que el abono Victoria Granja Agroecológica ya reportaba alto nivel de cromo, lo que se evidencia en el tratamiento 5 que arroja un valor de 39,525 ppm de Cr. El valor más bajo es para T4 con 26,293 ppm, ya que en este solo muestra el valor de los desechos sólidos de agua residual que contienen el metal en conjunto con las plumas (figura 3). Un estudio realizado por Acosta *et al.* (2006) encontró valores más bajos de cromo para desechos sólidos de agua residual, estiércol de chivo y residuos de sábila, estableciendo que esos no representaban un peligro aparente, en lo que se refiere a la posible aplicación de estos residuos al suelo. Por otro lado, un estudio realizado por Illera (2001) reportó un valor de 48.5 ppm de Cr, correspondiente al compostaje de biosólidos y de 32.9 ppm para compostaje de Residuos Sólidos Urbanos, lo cual indica que existe variación en cuanto al material utilizado para el compost y su contenido de Cromo.



**Nota.** Letras iguales significan que no hay diferencias significativas y las barras indican el error estándar.

**Figura 3.** Contenido de Cromo en los tratamientos; ppm: partes por millón.

Fuente: elaboración propia.

Al parecer, el aporte de este elemento lo hace el abono Victoria Granja Agroecológica, dado que los valores más altos se reportan donde el abono está incluido, además de que contiene estiércol de gallina, que, de acuerdo con Tortosa, Alburquerque, Ait-Baddi & Cegarra (2012), es de 23 ppm de Cromo, lo cual repercute en el contenido final del abono orgánico en mención. Sin embargo, también está en los desechos sólidos de agua residual, aunque en menor proporción que cualquiera de los tratamientos.

El análisis estadístico no mostró diferencia significativa en ninguno de los tratamientos con respecto a Plomo ( $P > 0.05$ ).

### Plomo (Pb)

Este elemento está en todos los tratamientos (figura 4), dado que se reporta en el abono Victoria Granja Agroecológica y los desechos sólidos de agua residual. Estos valores son bajos a comparación de un estudio realizado en los biosólidos de la planta de tratamiento de agua residual San Fernando de Itagui, realizado por Bedoya *et al.* (2013), en el cual reporta una valor de 94, 6 ppm de Pb. En otro estudio realizado por Miralles *et al.* (2002), se encontró

valores más altos para el caso de lodo sin compostar de 197 ppm y de lodo compostado de 332 ppm que no alcanzan a valores permitidos por la norma 5167 del ICONTEC.

El tratamiento con más cantidad del metal corresponde a T4, con 7.723 ppm; seguido de T2, con 6.910 ppm; y el de más bajo para T1, con 4.306 ppm ( figura 4).

Aunque se reportan en todos los tratamientos, ninguno alcanza los niveles máximos exigidos por la Norma 5167 del ICONTEC.

### CONCLUSIONES

Aunque todos los tratamientos reportan metales pesados, sus valores son muy bajos respecto a la norma 5167 del ICONTEC; por consiguiente, se considera un compost inocuo para su utilización como enmienda orgánica.

Los valores de pH no muestran diferencia significativa entre los tratamientos, además sus valores corresponden a alcalino y neutro; por ende, los metales pesados no son biodisponibles para las plantas.

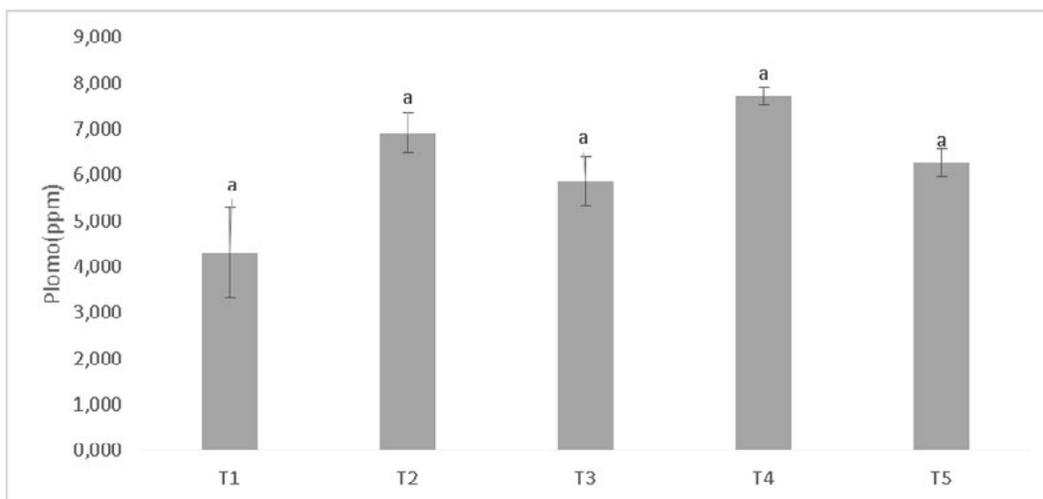


Figura 4. Contenido de Plomo en los tratamientos; ppm: partes por millón.

Fuente: elaboración propia.

El tratamiento 4 correspondiente a la mezcla de plumas y desechos sólidos de agua residual, presenta la mayor temperatura durante el transcurso del compostaje.

Se puede agregar al abono orgánico Victoria Granja Agroecológica, desechos sólidos de agua residual y plumas de gallina, ya que no afecta el contenido de metales pesados.

Los resultados arrojan bajos niveles de metales pesados; sin embargo, es importante determinar cómo están unidos los metales a las especies químicas (materia orgánica y sulfuros) para conocer su biodisponibilidad.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Victoria Granja Agroecológica por el apoyo logístico y de infraestructura en el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, Y., PAOLINI, J., FLORES, S., BENZO, Z., EL ZUAHRE, M., TOYO, L., & SENIOR, A. 2003. Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. *Multiciencias* 3 (1).

ALDANA, J. 2015. Evaluación de la calidad microbiológica del compostaje de plumas de gallina y desechos sólidos de agua residual del municipio de Ventaquemada. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Trabajo de grado. Colombia. 84 pp.

ATLAS, R. M. & BARTHA, R. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Ed. Addison Wesley. Madrid.

AYALA, B. 2015. Evaluación de las poblaciones de microorganismos promotores de crecimiento vegetal, en un abono orgánico fermentado preparado con la inclusión de aguas residuales y plumas de gallina. Fundación

Universitaria Juan de Castellanos. Trabajo de grado. Colombia. 96 pp.

BENAVIDEZ, A. & SÁNCHEZ, V. 2013. Com Pers, Vereda Puente de Boyacá municipio de Ventaquemada.

ESTRADA-GUERRERO, D. M., & SOLER-TOVAR, D. 2014. Las aves como bioindicadores de contaminación por metales pesados en humedales. *Ornitología Colombiana* (14): 145-160.

GARCÍA, F, MEDINA, M., GUARIN, J. & ROA, C. 2007. La disponibilidad de nutrientes para las plantas, consecuencia de interacción, química y bioquímica. *Cultura Científica*, (5): 21-28pp.

GONZÁLEZ, A. & BAUZA, R. 2010. Valor nutritivo de plumas tratadas por dos métodos de hidrólisis para la alimentación de cerdos. *Agrociencia Uruguay* 14 (2): 55-65.

GUTIÉRREZ, O, NAVARRO, L, LOEZA, P, GUADALUPE, O. & JIMÉNEZ, R. 2017. Perfiles de resistencia a antibióticos y metales pesados en *Pseudomonas aeruginosa* potencialmente patógenas aisladas de agua de uso agrícola. *Nova Scientia* 9 (19): 97-112.

HERNÁNDEZ, S. 2013. Propietaria planta de sacrificio vereda de Parroquia Vieja municipio de Ventaquemada. Com. Pers.

ILLERA, J. L. R. 2001. Aprendizaje colaborativo en entornos virtuales. *Anuario de psicología/The UB Journal of psychology* 32 (2): 63-76.

JERYS, J. & REGAN, R. 1973. Controlling environmental parameters for optimum composting. *Compost Science*. 8-15 pp.

KIELY, G., CARTON, S., CUNNINGHAM, O., DUFFY, D., GILLER, N., MAGETTE, P. S. & O'SULLIVAN, J. 1999. Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill Interamericana de España. España. 1360 pp.

- LAOS, F., MAZZARINO, M. J., SATTI, P., ROSELLI, L., MOYANO, S., RUIVAL, M., & MOLLER POULSEN, L. 2000. Planta de compostaje de biosólidos: investigación y desarrollo en Bariloche, Argentina. *Ingeniería sanitaria y ambiental* 50: 86-89.
- MÉNDEZ, B, CARRILLO, A, MONROY, M. & LEVRESSE, E. 2012. Influencia del pH y la alcalinidad en la adsorción de As y metales pesados por oxihidróxidos de Fe en jales mineros de tipo skarn de Pb-Zn-Ag. *Ciencias Biológicas* 29 (3): 639-648.
- MIRALLES, R. BELTRAN, E., PORCEL, M., DELGADO, M., BERIGOLA, L., MARTIN, J. CALVO, R. & WALTER, L. 2002. Emergencia de seis cultivos tratados con lodo fresco y contaminado de estaciones depuradoras. *Revista internacional ambiental* 18 (3): 139-146.
- MORENO, K., & MORAL, R. (2007). *Compostaje*. Mundi-prensa libros. ED. España. 530 pp.
- NAVARRO, R., & DE LA TIERRA, C. A. (1999). *Manual para hacer composta aeróbica*. CESTA. Amigos de la Tierra. San Salvador, El Salvador, 1-21pp.
- PÉREZ, M., GALÁN, C. MORENO, D., OROPEZA, A., LÓPEZ, A., FIDALEO, L. & SOLER, F. 2005. Contenido de metales pesados en hígado y plumas de aves marinas afectadas por el accidente "prestige" en la Costa de Galicia. *Revista de toxicología* 22 (3): 191-199.
- SAVAL, S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *BioTecnología* 16 (2): 14-46.
- TORRES, P., ESCOBAR, J., PÉREZ, A., IMARY, R., NATES, P., SÁNCHEZ, G., SÁNCHEZ, M. & BERMUDEZ, A. 2005. Influencia del material de emienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de agua residuales - PTAR. *Revista Ingeniería e investigación* 25 (2): 53-61.
- TORTOSA, G., ALBURQUERQUE, J. A., AIT-BADDI, G. & CEGARRA, J. 2012. The production of commercial organic amendments and fertilisers by composting of two-phase olive mill waste ("alperujo"). *Journal of Cleaner Production* 26: 48-55.
- VARGAS VACCA, A. M. 2014. Estudio del comportamiento del Pb, Cd, Cu y Zn después de la aplicación de compost en un suelo Typic Haplustolls cultivado con caña de azúcar. Tesis. Universidad de valle. Colombia. 105 pp.
- VARNERO, M., GALLEGUILLOS, K. & ROJAS, R. 2011. Sistemas de compostaje para el tratamiento de Alperujo. *Inf. Tecnol.* 22 (5): 49-56.
- Vullo, D, 2003. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva* 2 (3): 93-104.