

CARACTERIZACIÓN DE COMPOST DE RESIDUOS VEGETALES Y SU EFECTO SOBRE LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN LECHUGA

Área temática: Calidad Ambiental

Clozza, Mario*; de los Ríos, Alejandra; Amato, Alfredo; Leiva, Daniel; Ferrón Teodoro; Garrido, Graciela; Fanger, Teresita y Aranibar, Liliana

*Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Cátedra de Química General.
Universidad Nacional de La Matanza. F. Varela 1903 (B1754JEC).
San Justo. Buenos Aires. Argentina. mclozza@agro.uba.ar*

Resumen

En el área del conurbano bonaerense el cultivo de huertas generalmente se realiza en suelos que se caracterizan por estar decapitados, contaminados o muy degradados debido al uso inadecuado de este recurso. El agregado de enmiendas orgánicas, entre las que se destaca el compost, promueve su recuperación y mantenimiento, y por lo tanto la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria. En los suelos urbanos existe además la presencia de metales pesados, principales contaminantes a nivel global originados en la actividad antrópica, y cuya movilidad es muy baja tendiendo a acumularse en los primeros centímetros del suelo quedando accesibles a la absorción por parte de los cultivos. Excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena trófica. El objetivo de este experimento fue determinar las propiedades físico-químicas de los compost obtenidos a partir de residuos de diferentes orígenes agropecuarios, y si su incorporación al suelo reducía la absorción de metales pesados por las especies cultivadas. Se trabajó con muestras de compost producido en huertas familiares del partido de La Matanza. Las determinaciones de sus propiedades físico-químicas y químicas fueron realizadas en el Laboratorio de Química de UNLaM, lo que permitió caracterizarlos. Sobre mezclas de suelo contaminado y compost se desarrolló un cultivo de lechuga en maceta bajo cubierta. No se observó una relación lineal entre la presencia de Plomo y Cinc en hojas y su contenido en el sustrato. La incorporación de un 20% de compost al suelo permitió obtener la mayor calidad del material vegetal. El presente estudio posibilitó verificar que la incorporación de compost reduce el contenido de metales pesados en el cultivo de lechuga, mejorando los parámetros de su calidad comercial.

Palabras clave: compost, metales pesados, horticultura urbana

Abstract

Suburban orchards in the area of Buenos Aires are usually cultivated in contaminated or highly degraded soils, due to an inappropriate use of this resource. Addition of organic amendments as compost promotes its recovery and maintenance, and therefore the sustainability of farming system. In these soils there is also the presence of contaminating metals, originated in human activity, whose mobility is very low, tending to accumulate in the top few centimeters of soil and so being accessible to absorption by the crops. Excessive concentrations of metals in the soil could impact food quality, crop production and environmental health as they move through the food chain. The objective of this project is to determine the physico-chemical properties of compost produced in home orchards in La Matanza and if the incorporation into the soil reduces the absorption of these metals by the crops. Determinations of physico-chemical and chemical properties of the compost were performed at the Laboratory of Chemistry UNLaM, and so characterizing them. An essay was conducted in a greenhouse, growing lettuce in pots with soil and compost. No relationship was found between the presence of Pb and Zn in lettuce leaves and its content in substrate. Incorporating 20% of compost into the soil originated the highest quality. This study allowed us to verify that the incorporation of compost reduces the content of metals in lettuce crop, improving the parameters of commercial quality.

1. INTRODUCCIÓN

El compostaje es un tratamiento de residuos sólidos en el que diversas poblaciones microbianas constituidas por bacterias, hongos y actinomicetos degradan secuencialmente los restos orgánicos en presencia de oxígeno para transformarlos en dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada, por lo que constituye una forma racional de disminuir el volumen y peso de desechos orgánicos permitiendo obtener un material orgánico con un gran potencial para su reutilización en múltiples propósitos: mulching, sustratos, enmiendas, entre otros. La calidad de los compost está afectada por las características de los residuos utilizados, como son el contenido original de nutrientes y metales pesados, entre otros factores [1].

Los metales pesados representan uno de los principales contaminantes en la actividad agrícola; su toxicidad está determinada por su concentración en el medio, su biodisponibilidad y su esencialidad para la biota. El rango de concentración natural de los metales pesados en los suelos puede ser amplio y está condicionado, básicamente, por el tipo de roca madre y el grado de meteorización de la misma. Estos factores dependen de la zona de estudio y, por lo tanto, existe una importante variabilidad espacial en la concentración natural de metales en los suelos.

Tradicionalmente se llama metal pesado a aquel elemento metálico que presenta una densidad superior a 5 g.cm^{-3} , aunque a efectos prácticos en estudios medioambientales se amplía esta definición a todos aquellos elementos metálicos o metaloides, de mayor o menor densidad, que aparecen comúnmente asociados a problemas de contaminación.

En los suelos con actividad agrícola la entrada de estos elementos se produce mayoritariamente desde los fertilizantes, plaguicidas, estiércol, y desde la atmósfera. Por ejemplo, los fertilizantes fosforados tienen una cantidad importante de Cd, y para el control de plagas se han utilizado sales de Zn y arseniatos de Cu y Pb. También son aportados por el agua de riego y el uso, cada vez más extendido, de enmiendas orgánicas o biosólidos, entre los que destacan los lodos de depuradora y compost realizados a partir de residuos sólidos urbanos e industriales.

En general se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, tendiendo a acumularse en los primeros centímetros del suelo quedando accesibles a la absorción por parte de los cultivos. La presencia de estos metales en el cultivo depende de la biodisponibilidad, de la cualidad del cultivo y del objetivo de producción (hoja, tallo, raíz, flor, fruto o semilla). La biodisponibilidad de un elemento es función de: i) la forma química y física en la que se encuentra en el medio, y ii) la capacidad de los organismos para absorberlo o ingerirlo. Ambas cuestiones están influenciadas por múltiples factores, destacándose la especie vegetal, el tipo de suelo y sus características físico-químicas, y las condiciones climáticas, ya que influyen tanto en la absorción de los metales por la planta como en su distribución entre los diferentes órganos vegetales.

Los suelos cumplen funciones amortiguadoras de la contaminación por medio de neutralización, degradación biótica o abiótica, precipitación, disolución, oxidación-reducción, formación de complejos orgánicos o insolubilización y adsorción. Esta capacidad depuradora o *buffer* de un suelo depende de los contenidos de materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales de la arcilla, de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, del pH y de la capacidad oxidoreductora, textura, permeabilidad y actividad microbiana. Por lo tanto, para cada situación el poder *buffer* de un suelo tiene un límite, y cuando se superan esos límites para una o varias sustancias, el suelo está contaminado y es fuente de contaminantes.

Los contenidos de arcilla y la materia orgánica humificada tienen un papel fundamental en la dinámica de los metales pesados en los suelos junto con la capacidad de intercambio catiónico, ya que pueden estar en forma intercambiable o ser fijados irreversiblemente a la fracción arcilla. Los constituyentes de la materia orgánica le proporcionan sitios para la adsorción de metales (grupos funcionales con comportamiento ácido, tales como carboxílicos, fenólicos, alcohólicos, enólicos-OH y grupos aminos), pudiendo ser la principal fuente de la capacidad de intercambio catiónico en las capas superficiales del suelo. El contenido de materia orgánica interviene de manera diferente en la retención o solubilidad de los metales en función de si el suelo es ácido o básico. El pH es la característica edáfica que más afecta la adsorción de Cd, Cu y Pb, siendo explicada por diversos mecanismos: la precipitación, la hidrólisis metálica seguida de la adsorción de las especies de metales y la competencia de los cationes metálicos por los sitios de intercambio. La mayoría de los metales tiende a estar más disponibles a pH ácido porque son menos fuertemente adsorbidos por el complejo de cambio, excepto As, Mo, Se y Cr(VI), que son más móviles a pH alcalino por estar como oxianiones.

Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, además del tipo de metal y de las características físicas, químicas y biológicas del sustrato, pues éstas regulan su biodisponibilidad. Excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena trófica. La mayoría de estos metales no son biodegradables y, por consiguiente, pueden acumularse en

órganos vitales del cuerpo humano, produciendo efectos tóxicos progresivos. Los metales con mayor peligrosidad, por su toxicidad, para los seres humanos son el As, Cd, Hg y Pb.

En el área urbana y periurbana el cultivo de huertas generalmente se realiza en suelos que se caracterizan por estar decapitados, contaminados o muy degradados debido al uso inadecuado de este recurso. El partido de La Matanza comprende una de las zonas más densamente pobladas del Conurbano Bonaerense y del país, encontrándose en una subcuenca donde la contaminación por metales pesados constituye uno de los problemas más relevantes, no solamente por su magnitud sino también por el impacto que ejerce sobre un núcleo poblacional vulnerable.

En estas condiciones es fundamental la aplicación de una enmienda como el compost ya que actúa como mejorador del suelo y permite, a mediano y largo plazo, la regeneración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La incorporación de compost favorece la agregación y estructuración del suelo, aumenta la retención hídrica, la porosidad y la aireación. Asimismo incrementa el intercambio catiónico, influye sobre los procesos de oxido-reducción y reduce el riesgo de contaminantes orgánicos e inorgánicos, siendo además fuente de nutrientes y promotor de la actividad microbiana.

El objetivo de este proyecto fue determinar las propiedades físico-químicas de los compost obtenidos a partir de residuos de diferentes orígenes agropecuarios, y si su incorporación al suelo reducía la disponibilidad de metales pesados y así su absorción por las especies cultivadas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Caracterización de compost y suelo

La búsqueda de información acerca de las técnicas específicas permitió que se ensayaran distintas metodologías físico-químicas y químicas para lograr la caracterización de materiales orgánicos de uso en horticultura, ajustando así los procedimientos que pueden ser realizados con el instrumental existente en el Laboratorio de Química de la UNLaM, particularmente aquellos colorimétricos realizados con el espectrofotómetro UV-visible.

2.1.1. Compost

Se caracterizaron en el laboratorio los compost que fueron utilizados en las mezclas empleadas en los experimentos biológicos, a través de sus propiedades físico-químicas y químicas más relevantes. Se trata de compost provenientes de productores hortícolas matanceros, producidos a partir de restos vegetales. Una vez que las muestras ingresaron al laboratorio fueron acondicionadas, secadas al aire y molidas previo a la realización de las determinaciones. Como resultado del mismo se obtuvieron ajustes de protocolos en la caracterización de los materiales orgánicos destinados a su utilización en las mezclas con suelos de la zona.

2.1.2. Suelo

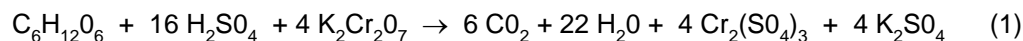
El material parental de los suelos del área de estudio está constituido por limos, arenas y arcillas principalmente post-pampeanas, acumuladas hacia fines del Pleistoceno y en el Holoceno temprano. Se pueden diferenciar cuatro zonas: alta, con asociaciones de Argiudoles, Argialboles y Natracualfes típicos; intermedia, con asociaciones de Argialboles argiácuicos, Natracualfes mólicos, Argiudoles ácuicos y Argialboles típicos; baja, que corresponde a las zonas aledañas a los cursos de agua con suelos no diferenciados y alcalinos; y por último la superficie pavimentada correspondiente a la zona urbana. Como investigación exploratoria se analizaron distintos puntos georeferenciados tomados al azar para estudiar la variabilidad y la posible contaminación con metales pesados que posibilitan cubrir la superficie del área considerada. Se caracterizó el suelo a través de sus parámetros físicos y químicos.

2.1.3. Parámetros cuantificados

- **pH:** la reacción de un suelo o un compost es aquella propiedad que establece el grado de acidez o alcalinidad que el pH representa y tiene gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón es una de sus propiedades más importantes. En laboratorio se midió el pH en agua destilada (relación 1:2,5 ml) por potenciometría con electrodo de vidrio y en pasta de saturación [2].

- **Carbono:** se realizó la determinación del Carbono fácilmente oxidable (%C fox) y Carbono total (%C total) de la materia orgánica (MO) aplicando el método de Walkley-Black y Walkley-Black modificado [3]. Para ello se pesaron las masas de las muestras del material orgánico (50 mg) con balanza electrónica de precisión, y luego de la oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en medio ácido con ácido sulfúrico (H_2SO_4) durante un lapso de tiempo preestablecido, se realizó una volumetría por retorno. En esta técnica es habitual la aplicación de un factor de conversión para obtener los valores de materia orgánica, expresados en porcentaje, a partir de los datos experimentales de carbono fácilmente oxidable.

La ecuación de óxido-reducción que fundamenta el método es (1):



- **Fósforo:** se determinó el Fósforo disponible (P_{disp}) por el método de Bray-Kurtz [4]. Las formas solubles del elemento son extraídas por una mezcla de $\text{NH}_4\text{F}/\text{HCl}$. El P del extracto se determina colorimétricamente con el método del molibdato de amonio (color azul), con ácido ascórbico como agente reductor. Se midió la transmitancia (%) con espectrofotómetro a 660nm y se calculó la absorbancia, habiéndose establecido una relación entre la absorbancia y la concentración de P.

2.2. Ensayos Controlados en Maceta

La etapa biológica del proyecto correspondiente al cultivo de especies vegetales se desarrolló en la Huerta Orgánica Experimental de la Facultad de Agronomía UBA (34° 35' LS 58° 29' LO). El experimento constó de distintos tratamientos: Testigo (T): utilizando suelo de un productor de la zona y Tratamientos T10, T20 y T30: el suelo con un 10%, 20% y 30% en volumen de agregado de compost, respectivamente. De entre los compost disponibles se seleccionó el compost 6 debido a sus mayores contenidos de materia orgánica y carbono total. Se trabajó con macetas sopladas de 0,5 litros de capacidad, las cuales contenían el suelo caracterizado en laboratorio y las mezclas correspondientes a cada tratamiento. En las mismas se desarrolló el ciclo completo de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), especie hortícola cuya producción y consumo es habitual en la población en estudio. Las macetas se dispusieron en un diseño en bloques completamente aleatorizados (DBCA), con la cantidad de repeticiones necesarias para realizar el posterior análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Al finalizar el ensayo se cosecharon las plantas y el material vegetal se secó en estufa a 70°C hasta peso constante. La materia seca fue digerida con una mezcla nítrico-perclórica HNO_3 y HClO_4 (5:1 v/v). La concentración de Pb y Zn en los extractos se midió por espectrometría de absorción atómica con llama aire-acetileno. Se caracterizó la producción obtenida determinando el contenido de dos metales pesados, Plomo y Zinc, en su biomasa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de compost y suelo

En la Tabla 1 se indican las propiedades físico-químicas y químicas más relevantes de los compost analizados provenientes de producciones hortícolas zonales.

Tabla 1: Valores de pH, Carbono fácilmente oxidable y Carbono total, contenidos de Materia Orgánica y Fósforo determinados para los compost

COMPOST	1	2	3	4	5	6
pH en agua 1:2,5	7,6	7,4	7,2	7,6	6,8	7,6
pH en pasta	7,1	7,1	7,2	7,3	6,7	7,4
%C fox	1,30	2,74	2,18	2,47	12,01	14,14
%C total	1,69	3,56	2,83	3,12	15,61	18,38
% MO	2,86	6,04	4,80	5,47	26,42	31,10
P disp. ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	182,36	184,36	195,42	185,36	181,37	171,49

Si bien todos fueron producidos a partir de restos vegetales, los materiales utilizados y el proceso de compostaje le otorgan a cada situación una característica particular. En el caso de los pH medidos son muy similares, al igual que en sus contenidos de fósforo. Sin embargo, para los contenidos de materia orgánica, carbono total y carbono fácilmente oxidable existen grandes diferencias, si bien se mantiene entre estos valores la misma relación: un 60% de la materia orgánica corresponde a carbono total, y de éste un 70% es carbono fácilmente oxidable.

La Tabla 2 resume las características del compost 6 y el suelo de un productor, característico de la zona, que fueran utilizados en la etapa biológica del proyecto correspondiente al cultivo de especies vegetales.

Tabla 2: Características químicas del suelo y el compost utilizado en los ensayos controlados en maceta

	pH en agua	CE (mS.cm ⁻¹)	C total	N total (mg.kg ⁻¹)	C/N	P (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
Suelo del productor	7,5	0,54	24,58	2,46	9,99	2,80	134,0	373,0
Compost 6	7,6	2,18	183,80	7,13	25,78	171,49	24,4	101,4

La mayor diferencia entre ambos se presenta en sus componentes: materia orgánica en el caso del compost y mayoritariamente minerales (arcilla, limo y arena) para el suelo. Ese mayor contenido de materia orgánica en el compost se correlaciona con los valores medidos de carbono, nitrógeno y fósforo, y con su mayor conductividad eléctrica.

Los contenidos de Plomo y Zinc en el suelo pueden tener su origen en el material originario del mismo así como a haberse incorporado a causa de la actividad antrópica en la zona o el aporte de suelo de otros sitios. En el caso del compost, al haberse producido a partir de restos de cultivos, los contenidos de estos elementos son los correspondientes a lo absorbido por los mismos durante su etapa de crecimiento, y en una menor proporción al suelo agregado a las pilas de compostaje como inóculo.

Los valores guía o niveles máximos permisibles de metales en suelos en la República Argentina se encuentran tabulados en el Decreto 831 de la Ley Nacional 24.051, sancionada en el año 1991 (Tabla 3).

Tabla 3. Máximos permisibles de metales pesados (mg.kg⁻¹) para suelos de diferentes usos

Uso del suelo	Cd	Cu	Zn	Cr	Pb
Agrícola	3	150	600	750	375
Residencial	5	100	500	250	500
Industrial	20	500	1500	800	1000

Los valores medidos para Pb y Zn en el suelo SP utilizado en los ensayos en maceta se hallan por debajo de los permitidos para el uso de suelos para la actividad agrícola en el país.

3.2. Ensayos Controlados en Maceta

La Tabla 4 muestra los contenidos de Plomo y Zinc en el material vegetal cosechado. En ambos casos el agregado de materia orgánica a través del compost modificó su absorción por parte del cultivo, si bien no se observó una relación lineal entre su presencia en hojas y el contenido en el sustrato.

Tabla 4: Contenidos de Plomo y Zinc (mg.kg⁻¹) en el material vegetal
Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

	Pb	Zn
Testigo	1,4 a	24,5 a
T10	1,1 a	20 ab
T20	0,6 b	14,2 c
T30	0,4 b	17,7 bc

4. CONCLUSIONES

Se encontró una correlación inversa del Zinc y el Plomo con la materia orgánica, indicando que los tratamientos con mayores contenidos de materia orgánica generaron una menor concentración de estos metales en los cultivos. Esto puede ser debido a que forman complejos orgánicos insolubles o se adsorben a la materia orgánica en forma no disponible para las plantas. Por lo tanto, a mayor cantidad de materia orgánica en los sustratos menos disponible estarían el Zinc y el Plomo para

los cultivos, presentando una menor concentración en hojas, condición que se observó en este trabajo.

La contaminación de origen antrópico presenta una elevada variabilidad espacial y esta variación se produce en espacios muy reducidos. Esto se incrementa cuando el aporte de los metales está dado por un mal manejo de residuos, y entonces la presencia de una pila o batería, por ejemplo, hará que se encuentre en ese punto un valor elevado de metales pesados y muy próximo a éste valores bajos o normales, situación conocida como puntos calientes o *hot spots*. Posiblemente esto haya ocurrido en el tratamiento T30 para el Zinc.

Tanto las condiciones de producción, el sustrato y las especies hortícolas del experimento, son similares a las utilizadas por la población asentada en la zona de estudio. Asimismo, la obtención local de compost a partir de residuos de distinto origen, permitiría repetir la práctica de incorporación del mismo. Estas características de repetibilidad permiten la apropiación por parte de la comunidad de los resultados de la investigación, posibilitando la transferencia de una tecnología simple y practicable.

5. REFERENCIAS

[1] Moreno Casco, J, Moral Herrero R. Compostaje. 2008 Madrid. Editorial Mundi Prensa. PP571.

[2] McLean EO. 1982. Soil pH and lime requirement. Pp 199-224. En: Page AL, Miller RH & Keeney DR (ed). Methods of Soil Analysis: Part 2 – Chemical and Microbiological Properties, ASA, SSSA, Madison, WI, USA.

[3] Page AL, Miller RH & Keeney DR (ed). 1982. Methods of Soil Analysis: Part 2. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.

[4] Bray RH & Kurtz LT. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. Soil Science, 59: 39-45.