



Universidad Nacional de La Matanza
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
Código: C 147

Caracterización del compostaje de residuos vegetales y su efecto sobre la acumulación de nitratos y metales pesados en especies hortícolas

Programa de Investigación: PROINCE

Director del Proyecto: Clozza, Mario Néstor

Integrantes del Proyecto: de los Ríos, Alejandra María (Codirectora); Amato, Alfredo Vladimir; Leiva, Daniel Rodolfo; Garrido, Graciela Rosana; Ferrón, Teodoro

Fecha de inicio: 2013/01/01 Fecha de finalización: 2014/12/31

Resumen

La creciente agriculturización de las zonas periurbanas en la Pampa Húmeda ha traído como consecuencia un marcado deterioro de sus suelos, puesto de manifiesto por la disminución de su calidad ante un menor contenido de materia orgánica, con desequilibrio químico y biológico, y una disminución en su capacidad y calidad productiva. 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. El objetivo de este proyecto es determinar las propiedades físico-químicas de los compost obtenidos a partir de residuos de diferentes orígenes agropecuarios, y si su incorporación al suelo reduce el contenido de metales pesados en las especies cultivadas. Se trabajó con muestras de compost obtenidos en la Huerta Orgánica Experimental de la FAUBA y otros provenientes de productores de la zona. Se ajustaron los procedimientos para determinar las propiedades físico-químicas y químicas que pudieron ser realizados en el Laboratorio de Química de UNLaM caracterizándose así los compost que fueron utilizados en los experimentos biológicos de germinación y en maceta. Se analizó la germinación de 2 especies hortícolas: rabanito y rúcula, y una ornamental, caléndula, sobre los extractos de compost y un suelo contaminado. Sobre mezclas de suelo y compost se desarrolló el cultivo de lechuga en maceta.

Considerando un índice de germinación global igual o mayor a 70 como de una aptitud germinativa aceptable, el mismo fue mayor a ese valor en las concentraciones de extracto de compost de cama de caballo y especies utilizadas, excepto cuando se utilizó puro en caléndula. En los extractos puros de compost de cama de gallina y cama de caballo ninguna de las especies presentó valores aceptables del índice, solamente diluido al 50% el rabanito mostró un valor mayor al límite. No se observó una relación lineal entre la presencia de Pb y Zn en hojas y su contenido en el sustrato. Los resultados indican que la incorporación de un 20% de compost al suelo permite obtener los mayores valores en los parámetros de 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, biodisponibilidad

Área de conocimiento: Agroquímica

Código de Área de Conocimiento: 3101

Disciplina: Fabricación de abonos y Utilización de abonos

Código de Disciplina: 3101.02 y 3101.03

Campo de Aplicación: Fabricación de Abonos y Utilización de Abonos

Código de Campo de Aplicación: 3101.02 y 3101.03

Otras dependencias de la UNLaM que intervinieron en el Proyecto: no corresponde.

Otras instituciones intervinientes en el Proyecto: Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 (1417) Ciudad Autónoma de Buenos Aires.



Caracterización del compostaje de residuos vegetales y su efecto sobre la acumulación de nitratos y metales pesados en especies hortícolas

Resumen

La creciente agriculturización de las zonas periurbanas en la Pampa Húmeda ha traído como consecuencia un marcado deterioro de sus suelos, puesto de manifiesto por la disminución de su calidad ante un menor contenido de materia orgánica, con desequilibrio químico y biológico, y una disminución en su capacidad y calidad productiva. 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. El objetivo de este proyecto es determinar las propiedades físico-químicas de los compost obtenidos a partir de residuos de diferentes orígenes agropecuarios, y si su incorporación al suelo reduce el contenido de metales pesados en las especies cultivadas. Se trabajó con muestras de compost obtenidos en la Huerta Orgánica Experimental de la FAUBA y otros provenientes de productores de la zona. Se ajustaron los procedimientos para determinar las propiedades físico-químicas y químicas que pudieron ser realizados en el Laboratorio de Química de UNLaM caracterizándose así los compost que fueron utilizados en los experimentos biológicos de germinación y en maceta. Se analizó la germinación de 2 especies hortícolas: rabanito y rúcula, y una ornamental, caléndula, sobre los extractos de compost y un suelo contaminado. Sobre mezclas de suelo y compost se desarrolló el cultivo de lechuga en maceta.

Considerando un índice de germinación global igual o mayor a 70 como de una aptitud germinativa aceptable, el mismo fue mayor a ese valor en las concentraciones de extracto de compost de cama de caballo y especies utilizadas, excepto cuando se utilizó puro en caléndula. En los extractos puros de compost de cama de gallina y cama de caballo ninguna de las especies presentó valores aceptables del índice, solamente diluido al 50% el rabanito mostró un valor mayor al límite. No se observó una relación lineal entre la presencia de Pb y Zn en hojas y su contenido en el sustrato. Los resultados indican que la incorporación de un 20% de compost al suelo permite obtener los mayores valores en los parámetros de 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, biodisponibilidad

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. El compostaje es, pues, una compleja interacción entre los restos orgánicos, los microorganismos, la aireación y la producción de calor, y 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. En el ámbito mundial se considera que el compostaje representa una alternativa muy adecuada para el manejo de residuos tales como los domiciliarios, los biosólidos y algunos residuos industriales, además de los tradicionales compost de residuos agrícolas y ganaderos. Esto es debido a que este tratamiento permite alcanzar un producto estable, sin olor, sin patógenos y con alto valor agregado (en el resultado final del compostaje, también se reconocen aminoácidos, proteínas y núcleos proteicos etc.). 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 (Moreno Casco y Morral Herrero, 2008).



Los metales pesados representan uno de los principales contaminantes a nivel global; su toxicidad está determinada por su concentración en el medio, su biodisponibilidad y su esencialidad para la biota. La liberación al ambiente de metales pesados como consecuencia de la actividad humana genera una significativa contaminación de los ecosistemas a nivel global.

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. El origen de los metales pesados en el suelo puede ser a través de la litogénesis y meteorización, y por aporte antrópico. Algunos metales pesados son esenciales en pequeñas cantidades para los organismos como el Hierro, Manganeseo, Zinc, Boro, Arsénico, Vanadio, Cobre, Níquel y Molibdeno, ya que son componentes estructurales o catalizadores de procesos bioquímicos, mientras que otros no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos como el Cadmio, Mercurio o el Plomo.

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, en gran medida, de la zona de estudio y, por lo tanto, existe una importante variabilidad espacial en la concentración natural de metales en los suelos.

En los suelos con actividad agrícola, la entrada de metales 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 o de residuos 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 las raíces 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 oxido-reductora, 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. La cantidad máxima admisible de un contaminante, a partir de la cual está biodisponible en cantidades que pueden ser tóxicas, se llama carga crítica, y marca el umbral de toxicidad. Debido a esto las características del suelo juegan un papel trascendente en reducir o aumentar la toxicidad de los metales presentes en él.

La solubilidad y movilidad de los metales en el suelo pueden incrementarse por tres procesos: i) descenso de pH; ii) modificaciones en las condiciones redox, y iii) incremento de la concentración de algunas sales inorgánicas y de agentes complejantes, naturales o sintéticos, que producen cambios en la especiación de los metales. Por otro lado, la adsorción de los metales al suelo se incrementa al aumentar el contenido de arcillas, óxidos de hierro (FeO_n) y manganeso (MnO_n) o materia orgánica.

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.

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.

La fitotoxicidad producida por la elevada concentración de metales pesados afecta al crecimiento y desarrollo vegetal, y es debida tanto a la toxicidad intrínseca de los metales, como al carácter acumulativo de cada elemento. Los efectos negativos en las plantas son diversos. Algunos de los más destacables son la alteración de las relaciones planta-agua; el incremento de la permeabilidad de las raíces, que las hace menos selectivas en la absorción de elementos desde el medio; la inhibición de la fotosíntesis y respiración; y la modificación de las actividades de algunas enzimas metabólicas. También se afecta el crecimiento y la formación de raíces laterales y secundarias. Estas alteraciones pueden producir mermas en el rendimiento y por lo tanto pérdidas económicas.

Durante la germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos que son comunes a la mayoría de las semillas y que pueden verse alterados por la presencia de alguna sustancia tóxica. Esta es por lo tanto una etapa de gran sensibilidad a los factores externos adversos, ya que el éxito o aptitud de una plántula para establecerse en un ambiente determinado es relevante para garantizar la supervivencia de la especie y lograr buenos rendimientos. La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocótilo constituye un indicador subletal muy sensible para la evaluación de efectos biológicos en la capacidad de establecimiento y desarrollo de la planta, aportando información complementaria a la proporcionada al estudiar el efecto en la germinación. Estos bioensayos de toxicidad con semillas permiten evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. A través del índice de germinación global se conjugan las respuestas que involucran tanto el porcentaje de germinación como la longitud de la radícula para una determinada especie vegetal, comparando la situación ideal de presencia de agua pura y cuando existen solutos disueltos en el medio.

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 del conurbano bonaerense, en sitios urbanos y periurbanos, 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 oxidación-reducción y reduce el riesgo de contaminantes orgánicos e inorgánicos, siendo además fuente de nutrientes y promotor de la actividad microbiana.

Objetivos

- Determinar las características y propiedades físico-químicas de compost obtenidos a partir de residuos de diferentes orígenes agropecuarios y sus combinaciones.
- Cuantificar los macro y micronutrientes en el producto vegetal obtenido, y la presencia de metales pesados.
- Cuantificar los metales pesados en el suelo, el lixiviado y el material vegetal cosechado.
- Evaluar el efecto de la incorporación de cantidades variables de materia orgánica al suelo sobre el contenido de metales pesados en el material vegetal.
- Evaluar el efecto de la modificación del pH del suelo sobre el contenido de metales pesados en el material vegetal.

Hipótesis

La incorporación de materia orgánica al suelo y/o la modificación de su pH reducen la disponibilidad de metales pesados en el mismo y mejora la calidad de las especies cultivadas.

Material y Métodos

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 realizadas con el espectrofotómetro UV-visible.

Se pudieron cuantificar varios parámetros sin recurrir a la contratación de laboratorios de terceros, como la determinación del pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, Carbono fácilmente oxidable, contenido de Fósforo. Para otras determinaciones se debió recurrir a servicios de terceros, como en el caso de la concentración de Pb y Zn, que fueron determinados por espectrometría de absorción atómica (EAA) con llama aire-acetileno luego de la digestión del suelo con HNO₃ y HClO₄ (5:1 v/v) y Nitrógeno total por el método de Kjeldhal (Bremner y Mulvaney, 1982).

- 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, y su influencia en la germinación de semillas de las especies hortícolas utilizadas en el experimento.

Se trata de compost provenientes de la Huerta Orgánica FAUBA y de productores hortícolas, producidos a partir de restos vegetales. Los mismos fueron identificados como compost 1, 2 y 3 (productores), y A, B y C (Huerta Orgánica). Para los bioensayos de germinación se utilizaron extractos de compost elaborados con residuos de cama de caballo (CC) y cama de gallina (CG).



Una vez que las muestras ingresaron al Laboratorio de Química General del DIIT, UNLaM, fueron acondicionadas, secadas al aire y molidas previo a la realización de las determinaciones físico-químicas de laboratorio. 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.

- 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 (pH, conductividad eléctrica, relación C/N, contenido de materia orgánica y pruebas de fitotoxicidad).

- Parámetros cuantificados

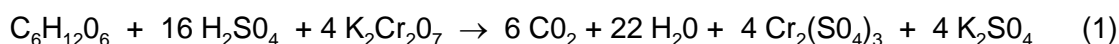
pH: la reacción de un suelo o un compost es aquella propiedad que establece el grado de acidez o alcalinidad que el pH representa y tiene gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por esta razón es una de sus propiedades más importantes. Este parámetro está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes, ya que a pH ácidos (pH<6,5) disminuye la disponibilidad especialmente de Fósforo, Azufre, Nitrógeno, Molibdeno, Calcio, Potasio y Sodio, mientras que a pH básicos (pH>7,6) disminuye la disponibilidad de Fósforo y micronutrientes (Boro, Aluminio, Manganeso, Hierro, Cobre y Zinc).

La relación acidez/alcalinidad durante el proceso de compostaje es crítica. Un valor de pH de 6.0 a 7.5 (cercano a la neutralidad) es ideal. El nivel de acidez/alcalinidad afecta la solubilidad de metales pesados, la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos y su actividad metabólica.

En laboratorio se midió el pH en agua destilada (relación 1:2,5 ml) por potenciometría con electrodo de vidrio (Mc Lean, 1982) y en pasta de saturación el suelo y los sustratos orgánicos a utilizar.

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 (Page et al., 1982). 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 (K₂Cr₂O₇) en medio ácido con ácido sulfúrico (H₂SO₄) 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: generalmente los suelos en Argentina son deficientes en Fósforo, por lo cual se hace necesario su aporte y a su vez darle las características ideales como contenido de materia orgánica y un pH adecuado (cercano a la neutralidad) para lograr su disponibilidad.

Se determinó el Fósforo disponible (P_{disp}) por el método de Bray-Kurtz I (1945). Las formas solubles del elemento son extraídas por una mezcla de NH₄F/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. Se estableció la relación entre la absorbancia y la concentración de P (ml.L⁻¹) (Figura 1), presentando un coeficiente de correlación altamente representativo. Esta curva de calibración permitió estimar las concentraciones de P en las soluciones de las muestras. A su vez, la puesta a punto de la técnica implicó la elaboración de los patrones de Fósforo y los reactivos necesarios.

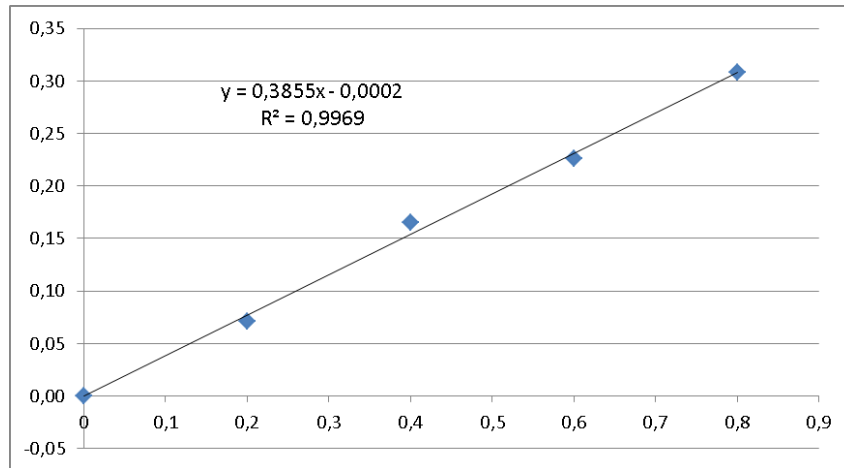


Figura 1: Relación entre absorbancia y concentración de Fósforo disponible

2- Bioensayos de Germinación

Se trabajó con muestras de los compost CC y CG, y un suelo contaminado (SC). Se prepararon extractos acuosos sumergiendo el sólido (compost o suelo) en agua desionizada, en una relación 1:2 (P/P) mezclando 10g de compost y 20mL de agua, dejándose macerar durante 2 horas y luego, utilizando un filtro de tela, recolectándose el líquido correspondiente a cada extracto descartándose los residuos sólidos. Los extractos acuosos así preparados se emplearon en forma pura (100%) y diluidos (50%), caracterizándolos a través del pH y la conductividad eléctrica (CE, mS.cm⁻¹).

Para el bioensayo se utilizaron semillas de dos especies hortícolas, rabanito (*Raphanus sativus*) y rúcula (*Eruca sativa*), y una ornamental, caléndula (*Calendula officinalis*), ya que son las más representativas de las huertas periurbanas, con ciclos de producción relativamente cortos y distintos objetivos de producción las hortícolas (raíz, hoja), mientras que la ornamental constituye una planta trampa para plagas en la huerta.

Los tratamientos consistieron en exponer a las semillas a las distintas diluciones de los extractos obtenidos y un testigo con agua desionizada. Para cada especie se colocaron 20 semillas en una caja de Petri con papel de filtro embebido en cada dilución (7mL), rotulándola y ubicándola en cámara climática a 20±1°C y 70% de humedad relativa, procediéndose a medir el largo de las radículas de las semillas germinadas a los 7 días de iniciado el experimento. Para ello se colocaron las plántulas sobre un papel milimetrado y se midió desde la región engrosada de transición entre la radícula y el hipocótilo (cuello de la planta) hasta el ápice radicular.

Se calculó el índice de germinación global (IG) para cada especie y tratamiento mediante la siguiente fórmula (2):

$$IG(\%) = G / G_0 \times L / L_0 \times 100 \quad (2)$$

donde, G es el número de semillas germinadas y L la longitud de la radícula en la situación experimental, mientras que G₀ y L₀ son sus respectivos cuando son provistas de agua desionizada.

El experimento tuvo un diseño completamente aleatorizado, con cinco repeticiones por tratamiento. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza, y en aquellos casos en los que se marcaron diferencias significativas entre tratamientos, las diferencias de las medias se analizaron mediante el test de Tukey.



3- 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 (SP) y Tratamientos T10, T20 y T30: el suelo con un 10%, 20% y 30% en volumen de agredado del compost C, respectivamente.

De entre los compost disponibles se seleccionó el compost C 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.

Se caracterizó la producción obtenida determinando el contenido de dos metales pesados, Plomo y Zinc, en su biomasa. Al finalizar el ensayo, se cosecharon las plantas. El material vegetal se secó en estufa a 70°C hasta peso constante. La materia seca fue digerida con una mezcla nítrico-perclórica HNO₃ y HClO₄ (5:1 v/v). La concentración de Pb y Zn en los extractos se midió por espectrometría de absorción atómica (EAA) con llama aire-acetileno.

Resultados y Discusión

1- Caracterización de compost y suelo

En la Tabla 1 se resumen las propiedades físico-químicas y químicas más relevantes de los compost analizados provenientes de producciones hortícolas zonales (compost 1, 2 y 3) y de la Huerta Orgánica FAUBA (A, B y C).

COMPOST	1	2	3	A	B	C
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. (mg.Kg ⁻¹)	182,36	184,36	195,42	185,36	181,37	171,49

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

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.

Para los bioensayos de germinación se trabajó con compost CC y CG, y con suelo contaminado SC, preparando extractos acuosos puros y diluidos de los mismos y midiéndoles el pH y la conductividad eléctrica. Estas características difirieron según origen y dilución. Los



valores de pH obtenidos tanto para los extractos puros o diluidos como para el suelo contaminado con Plomo estuvieron cercanos a la neutralidad, valor en el que la mayoría de los nutrientes se encuentran disponibles para los vegetales. Con respecto a la conductividad eléctrica, el SC presentó valores muy bajos, intermedio el compost CC y decididamente altos en el caso de compost CG. La elevada salinidad de los compost no hace posible su uso en forma pura, aunque sí diluido, ya que los extractos al 50% presentan un valor aceptable para su uso en producciones florihortícolas (Tabla 2).

Extractos	pH		CE (mS.cm ⁻¹)	
	100%	50%	100%	50%
Compost (CC)	6,46 a	6,62 a	2,38 c	1,74 d
Compost (CG)	6,85 a	7,00 a	> 10 a	4,25 b
Suelo contaminado (SC)	7,06 a	6,98 a	0,67 e	0,44 e

Tabla 2: Valores de pH y conductividad eléctrica medidos en extractos de compost y suelo al 50% y 100%. Letras distintas dentro de cada parámetro medido indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

La Tabla 3 resume las características del compost C, proveniente de la Huerta Orgánica Experimental FAUBA, y un suelo de un productor (SP), característico de la zona, que fueran utilizados en la etapa biológica del proyecto correspondiente al cultivo de especies vegetales.

	pH en agua	CE mS.cm ⁻¹	C total mg.kg ⁻¹	N total mg.kg ⁻¹	C/N	P mg.kg ⁻¹	Pb mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹
Suelo del productor (SP)	7,5	0,54	24,58	2,46	10,01	2,80	134,0	373,0
Compost C	7,6	2,18	183,80	7,13	18,15	171,49	24,4	101,4

Tabla 3: Características químicas del suelo antrópico y el compost utilizado en los ensayos controlados en maceta

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 4).

Uso del suelo	Cd mg.kg ⁻¹	Cu mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹	Cr mg.kg ⁻¹	Pb mg.kg ⁻¹
Agrícola	3	150	600	750	375
Residencial	5	100	500	250	500
Industrial	20	500	1500	800	1000

Tabla 4. Máximos permisibles de metales pesados (mg.kg⁻¹) para suelos de diferentes usos



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.

2- Bioensayos de Germinación

Considerando un IG igual o mayor a 70 como de una aptitud germinativa aceptable, los valores hallados para el compost CC están por encima del límite en ambas concentraciones en los casos de rabanito y rúcula, mientras que en caléndula es apto su uso solamente en la forma diluida.

Para los tratamientos de compost CG, tanto concentrados como diluidos, las especies rúcula y caléndula no presentaron valores considerados aceptables, y solo lo es para rabanito cuando diluido. El tratamiento SC presentó el mismo modelo que el de compost CG, donde la única situación de IG mayor a 70 ocurre en rabanito cuando el extracto es diluido (Tabla 5).

Extractos	Concentración	Índice de Germinación		
		Rabanito	Rúcula	Caléndula
Compost CC	100%	119 b	146 b	58 b
	50%	162 a	172 a	79 a
Compost CG	100%	52 e	43 d	10 d
	50%	91 bc	56 c	38 c
Suelo SC	100%	65 d	37 d	0 e
	50%	77 cd	42 d	0 e

Tabla 5: Índices de germinación global calculados. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Analizando en forma conjunta los resultados se puede inferir que extractos con alta CE (compost de CG) inciden negativamente en el IG tanto en el número de semillas germinadas como en la longitud de las radículas.

Sin embargo, el bajo valor de IG en las situaciones de SC no se puede atribuir a la CE, dado que ésta fue significativamente más baja que en los otros tratamientos.

Cabría aquí la posibilidad de estar frente a una situación de toxicidad por el elemento.

En el caso de semillas de rabanito germinando en SC el valor del IG fue mayor a 70, posiblemente debido a un efecto de hormesis.

3- Ensayos Controlados en Maceta

La Tabla 6 muestra los contenidos de Plomo y Zinc en el material vegetal cosechado. En el caso del Pb los valores medidos no fueron detectables, por hallarse su contenido en el material vegetal por debajo de la sensibilidad del equipo utilizado. Para el Zn en cambio, el agregado de materia orgánica a través del compost modificó su absorción por parte del cultivo.

	Pb mg.kg ⁻¹	Zn mg.kg ⁻¹
Testigo	1,4	24,5
T10	1,1	20
T20	0,6	14,2
T30	0,4	17,7

Tabla 6: Contenidos de Plomo y Zinc en el material vegetal



Conclusiones

Un parámetro importante que influencia el ingreso de metales a las plantas es su biodisponibilidad. Sólo una fracción de la concentración total de metales presentes en el suelo estará biodisponible para ser absorbida por las plantas. El Zinc presentó mayores concentraciones que el Plomo, tanto en el compost C como en el suelo, lo cual muestra su alta movilidad.

Se evaluó la acumulación y potencial biodisponibilidad de Plomo en lechuga, especie hortícola usualmente cultivada por la población asentada en la zona de estudio, creciendo en un suelo contaminado con este metal, y los cambios producidos por el uso de materia orgánica. El agregado de compost al suelo disminuyó significativamente el contenido de este metal en las plantas, sin embargo los valores no fueron menores que la concentración máxima aceptable en vegetales de consumo según la FAO, establecida en $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ para Pb.

Se encontró una correlación inversa del Zinc con la MO, indicando que los tratamientos con mayores contenidos de MO generaron una menor concentración de Zinc en los cultivos. Esto puede ser debido a que el Zn forma complejos orgánicos insolubles o se adsorbe a la MO en forma no disponible para las plantas. Por lo tanto, a mayor cantidad de MO en los sustratos menos disponible estaría el Zinc 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 repetitibilidad permiten la apropiación por parte de la comunidad de los resultados de la investigación, posibilitando la transferencia de una tecnología simple y practicable.

Bibliografía

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

Bremner JM & Mulvaney CS. 1982. Pp 595-624 En: Page AL, Miller RH & Keeney DR (ed). *Methods of Soil Analysis: Part 2 – Chemical and Microbiological Properties*, ASA, SSSA, Madison, WI, USA.

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.

Moreno Casco, J, Moral Herrero R. *Compostaje*. 2008 Madrid. Editorial Mundi Prensas. PP571.

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.



Producción científico-tecnológica

- **Publicaciones**

- a) **Congresos Nacionales**

- VI Congreso Argentino de Ingeniería Industrial COINI 2013. UTN. Facultad Regional San Rafael. 7 y 8 de noviembre 2013.
de los Ríos, Alejandra; Venegas, Patricia; Amato, Alfredo; Leiva, Daniel y Aranibar, Liliana.
“La enseñanza de la Química General en el currículo de Ingeniería Industrial: una propuesta integradora”. Trabajo completo.
- de los Ríos, A.; Venegas, P.; Amato, A.; Leiva, D. y Aranibar, L. En: “Memorias del COINI 2013 UTN FRSR”. Libro Digital en:
http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/coini_2013.html con registro ISBN 978-987-1896-26-4. “La Enseñanza de la Química General en el currículo de Ingeniería Industrial: una propuesta integradora”.

- b) **Congresos Internacionales**

- 10^{mo} Encuentro de Agricultura Orgánica y Sostenible. Varadero, Matanzas, Cuba. 21 al 24 de Mayo de 2014. “Por un Desarrollo Agrario Sostenible”. ACTAF.
de los Ríos, A.; Clozza, M.; Leiva, D.; Amato, A.; Garrido, G.; Ferrón, T. “Caracterización del Compost y Bioensayos de Germinación”.

- c) **Jornadas de investigación**

- 1^{ra} Jornada de Investigación Interdepartamental “25 años de Desarrollo e Innovación en el Conocimiento”. UNLaM. La Matanza. Buenos Aires, Argentina. 15 Septiembre 2014.
Clozza, M.; de los Ríos, A.; Amato, A.; Leiva, D.; Ferrón, T.; Garrido, G.; Giardina, E. y Carballo, S. “Caracterización del Compostaje de residuos vegetales y su efecto sobre la acumulación de nitratos y metales pesados en especies hortícolas”.

- d) **Anuario de Investigaciones**

- Anuario de investigaciones. Resúmenes extendidos 2013. Universidad Nacional de La Matanza, Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (En prensa)

- e) **Nota periodística**

- A cargo del periodista Gaspar Grieco de la Agencia CTyS, UNLaM (en edición).