

De residuos a recursos: el otro camino de los desechos orgánicos urbanos.

Estudio de caso: compostaje de lodos cloacales en Bariloche, Argentina.

Mazzarino, María Julia

mariajulia.mazzarino@crub.uncoma.edu.ar. Investigador principal CONICET, Directora Grupo de Suelos CRUB (Univ. Nac. Comahue), Bariloche, Argentina

Resumen- Los residuos orgánicos pueden ser transformados en un recurso de alto valor para la producción agrícola y la restauración de ecosistemas degradados. Su valor como enmienda contribuye a mantener y recuperar la materia orgánica del suelo y por lo tanto, la estructura, dinámica del agua, actividad biológica, provisión de nutrientes y control de la erosión. La valorización agrícola de residuos orgánicos también contribuye a disminuir el costo de construcción y mantenimiento de vertederos y a disminuir gases de efecto invernadero y contaminación con lixiviados. Sin embargo, tienen que ser utilizados de acuerdo a las necesidades de los cultivos o de restauración de ambientes degradados, teniendo en cuenta criterios precautorios que eviten la contaminación de suelos y aguas. Uno de los tratamientos de residuos orgánicos más recomendado es el compostaje, ya que asegura la reducción de patógenos y semillas de malezas y la estabilización de la materia orgánica. Para certificar un compostaje efectivo son necesarios controles de proceso y de calidad, existiendo varios indicadores de fácil determinación en laboratorios de rutina. El aprovechamiento de residuos orgánicos de cualquier origen requiere un marco legal que facilite su valorización y desaliente el uso sin controles. La falta de normas y las exigencias excesivas son igual de perjudiciales.

Palabras clave- compostaje, criterios precautorios, indicadores de calidad, marco legal, uso beneficioso, valor agrícola

Abstract- Organic residues can be transformed in valuable resources for crop production and restoration of degraded ecosystems. Its value as soil amendments contributes to maintain and restore soil organic matter and consequently, soil structure, water dynamics, biological activity, nutrient release and erosion control. Agricultural valorization of organic residues also contributes to diminish both construction and maintenance costs of landfills, greenhouse gas emissions and leachate contamination. However, they have to be applied according to crop nutrient demands or restoration needs, taking into account precautionary criteria to avoid soil and water contamination. Composting is one of the most recommended technologies of organic residues treatment since it ensures reduction of pathogens and weed seeds and stabilization of organic matter. Effective composting requires process and quality controls, and some combinations of indicators are available that can be assessed in soil and plant analysis laboratories. The beneficial use of organic residues requires a comprehensive legal framework that supports valorization and discourages uncontrolled use. Lack of regulations and excessive demands are equally detrimental.

Keywords- composting, precautionary criteria, quality indicators, legal framework, beneficial use, agricultural value

I. ORIGEN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

La generación de residuos ha aumentado exponencialmente con el desarrollo de la humanidad. La vida media del ser humano que era de alrededor de 20 años durante el neolítico aumentó a aprox. 70 años en la actualidad y el número de habitantes de aprox. 10 millones a 6.000 millones. Como consecuencia, el consumo del ser humano es actualmente 120 millones de veces mayor que en el neolítico, y esta cifra es un barómetro del uso actual del medio ambiente (Vian Ortuño, 1994). Este consumo está conduciendo, por un lado, al agotamiento de los recursos naturales y por otro, a un aumento incontrolado en la generación de residuos. Su manejo implica un alto costo económico en los países desarrollados, y un alto costo sanitario y ambiental en los países en desarrollo, debido a tratamientos inadecuados que conducen a la contaminación de acuíferos y suelos, a la atracción de vectores y transmisión de enfermedades, a la contaminación del aire por combustión espontánea de basurales y a la generación de gases de efecto invernadero.

Aún en los países donde existe un manejo controlado de vertederos, como los países europeos, se considera que el costo ambiental es muy alto ya que el 30% del metano¹ que generan proviene de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos en vertederos, lo que ha llevado a regular la cantidad aceptada en los mismos. Así, por ejemplo, Alemania prohíbe disponer en vertederos residuos que contengan más de 5% de materia orgánica (Gies, 1997). Por otro lado, la incineración de residuos en países desarrollados con disponibilidad de terreno limitado, es una práctica decreciente debido a la desconfianza de la población en la efectividad del tratamiento de los gases generados y el alto costo de mantenimiento (USEPA, 1999a).

Los residuos orgánicos representan una alta proporción de los residuos generados por los seres humanos y han sido utilizados por la humanidad desde hace milenios, especialmente los de origen agrícola, ganadero y forestal, que han sido considerados tradicionalmente **un recurso** y aprovechados generalmente en el mismo lugar de producción. Sin embargo, en los medios urbanos han sido tratados siempre como **un problema** y desde los primeros asentamientos se trató de eliminarlos sacándolos fuera de las murallas; algunas civilizaciones como las de los sumerios y los griegos, comenzaron a enterrarlos en pozos cavados con ese fin, dando origen al principio del tratamiento en vertederos (Epstein, 1997).

En la actualidad, los **residuos forestales y agrícola-ganaderos** siguen siendo los más abundantes (Gies, 1997) y son utilizados mayormente en su lugar de origen, si bien algunos se producen en concentraciones tan altas (en feedlots, cría intensiva de aves de corral y de cerdos, residuos de lecherías), que requieren tratamientos especiales y distribución fuera de la región donde se producen. En ambientes urbanos, los residuos orgánicos representan entre 20 y 80% de los residuos generados (**residuos sólidos urbanos o residuos domiciliarios**), con los valores más bajos en los países de mayores ingresos, por ejemplo, el valor promedio para Europa es 25% (FEAD, 2009) y para EEUU 27% (USEPA, 2010). Un ejemplo del otro extremo es

¹ El metano es un gas de efecto invernadero que contribuye marcadamente al calentamiento global ya que absorbe 20 veces más calor que el CO₂

Colombo (Sri Lanka), que con 6,5 millones de habitantes presenta una proporción de 70-80% de residuos orgánicos (Halbach & Thomas, 2005). En Argentina, se considera que aprox. 50% de los residuos producidos son orgánicos (ENGIRSU, 2005). Estos residuos orgánicos son los que generalmente se consideran “húmedos” e incluyen restos de comida, césped y residuos de poda. Debe considerarse, sin embargo, que en los países de altos ingresos estos valores son “diluidos” por la alta proporción de papel y cartón provenientes especialmente del sector embalaje (“packaging”), que aunque también es orgánico se considera y recicla aparte, representando entre 29-35% del peso total de los residuos generados.

Además de los residuos sólidos urbanos o domiciliarios, otro residuo de origen urbano de producción más reciente son los **lodos, barros o fangos cloacales**, generados en la depuración de aguas residuales. Si bien la instalación de depuradoras ha implicado un avance fundamental a nivel ambiental, ha generado este nuevo residuo cuyo destino final no es considerado adecuadamente en muchos países en desarrollo. A partir de la instalación masiva de plantas depuradoras en los países desarrollados desde la década del 60, y especialmente desde la prohibición del volcado en los océanos (London Convention & Protocol, 1996), se intensificó el estudio de los mismos para uso beneficioso.

II. ¿QUÉ ES USO BENEFICIOSO?

En general se considera que **residuo** es todo aquello que no tiene valor para el generador, lo que implica que lo que constituye un residuo para alguien, puede no serlo para otro. Cuando un residuo puede ser reutilizado, se ha sugerido denominarlo **subproducto**, como un cambio de paradigma, ya que las connotaciones asociadas con los términos “residuo” o “basura” son siempre negativas (Cooperband, 2000).

Especialmente para el caso de los lodos cloacales, la USEPA (1999a) definió los términos disposición y uso beneficioso, que se han extendido a otros residuos orgánicos. Las formas de **disposición** más comunes son los rellenos sanitarios o vertederos, la incineración y la disposición superficial (“landfarming”), mientras que el **uso beneficioso** se refiere a “aplicarlos en el suelo para aprovechar los nutrientes y materia orgánica que contienen” e implica usos agronómicos y similares (forestal, restauración, paisajismo, producción de abonos y enmiendas). En este contexto, se define como **biosólidos** a los “lodos cloacales que pueden ser usados de manera beneficiosa, especialmente como una enmienda para el suelo”. Actualmente también existen interpretaciones más amplias de uso beneficioso que incluyen la producción de energía (NEBRA, 2007) e incluso el aprovechamiento de lodos contaminados en el cierre de vertederos. En las leyes europeas se promueve especialmente el uso de biosólidos y de residuos orgánicos domiciliarios, a través del compostaje y la producción de biogás (Düring & Gäth, 2002).

III. ¿POR QUÉ USAR RESIDUOS ORGÁNICOS EN AGRICULTURA?

El concepto de “producción agrícola sustentable”, tan difundido en las últimas décadas, se basa en el mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos, a través del aporte externo de materia orgánica y nutrientes, y de prácticas de manejo que disminuyan el riesgo de erosión hídrica y eólica. Los suelos están constituidos mayoritariamente por minerales², que representan entre 80-98% de la masa total; sin embargo, el porcentaje restante, que como se aprecia puede ser muy bajo, es materia orgánica proveniente de organismos muertos (mayormente vegetación), que se descompone en el suelo especialmente por acción de microorganismos y forma esta fracción que se conoce como **materia orgánica del suelo (MOS)**. Está constituida por compuestos orgánicos recientes y fácilmente degradables, y otros provenientes de descomposición parcial y neosíntesis, que cumplen diferentes funciones en el suelo:

- Un rol cementante de las partículas minerales formando “agregados” que mejoran la “estructura del suelo”. Si un suelo es arenoso el agua no se retiene, circula demasiado rápido y las plantas no alcanzan a tomarlo; si es arcilloso el agua no circula, se acumula en superficie o es muy retenida. La MOS une a estas partículas en agregados que permiten una adecuada circulación del agua en los macroporos que quedan entre ellos, y retienen agua disponible para las plantas en micro y mesoporos dentro de ellos. Además, la MOS actúa como una esponja, siendo capaz de absorber su propio peso en agua. Por lo tanto, controla la dinámica del agua y reduce el riesgo de erosión (es más fácil que el viento o el agua muevan partículas sueltas de arcilla, arena o limo que un agregado de partículas unidas por MOS) y de compactación (mayor porosidad que facilita el crecimiento de las raíces).
- Fuente de nutrientes: dado que su descomposición libera los nutrientes contenidos en el material original, especialmente nitrógeno, considerado el nutriente más limitante en la mayor parte de los ecosistemas terrestres, y fósforo, limitante en suelos ácidos, calcáreos o de origen volcánico (Schlesinger, 1991).
- Fuente de energía (carbono) para el mantenimiento de la actividad microbiana del suelo mediada especialmente por microorganismos heterótrofos.
- Filtro ambiental: ya que actúa desactivando contaminantes a través de reacciones de hidrólisis, complejación, ácido-base, óxido-reducción y actividad biológica.

Dado su origen, la MOS está concentrada en los horizontes superiores del suelo y por lo tanto, presenta un alto riesgo de pérdida por efecto de disturbios naturales y antrópicos, como erosión, fuego, sobrepastoreo, cambio de uso de la tierra, contaminación, construcción de caminos, etc.

¿Qué sucede si se pierde MOS?

Faltan nutrientes esenciales para las plantas, especialmente nitrógeno, disminuye la actividad biológica del suelo, aumenta la erosión y la contaminación de aguas.

¿Cuál es la principal consecuencia de la pérdida de MOS?

La **degradación de los suelos**, que incluye tanto pérdida de suelo como contaminación (entrada de sustancias contaminantes al suelo) y afecta a todo el

² Los minerales forman parte de partículas de tres tamaños: arena (2 mm-50 µm), limo (50 µm-2 µm) y arcilla (< 2 µm). Se considera “suelo” a la fracción que pasa por un tamiz de 2 mm de malla.

planeta, y la **desertificación**, que es la degradación del suelo en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas como consecuencia del clima y de las actividades humanas. Según la FAO, la desertificación implica “la destrucción del potencial biológico de la tierra, la degradación de las condiciones de vida y la expansión de los desiertos”. Por ejemplo, en Argentina, donde el 75% del territorio es árido y semiárido, la degradación de los suelos, especialmente la desertificación, afecta 60 millones de hectáreas (de un total de 280 millones) y avanza a razón de 650.000 ha/año (Proyecto LADA, 2003).

Por lo tanto, el mantenimiento o aumento de la MOS es fundamental para mantener la productividad de los cultivos y la vegetación natural y para recuperar suelos degradados. Este efecto de mejorar el suelo, conocido como **efecto enmienda**, es el aspecto más importante del uso agrícola de los residuos orgánicos. La utilización de fertilizantes o abonos sólo actúa como aporte de nutrientes para las plantas a corto plazo, ya que tienden a lavarse fácilmente y no mejoran el contenido de la MOS, incluso pueden aumentar la descomposición de la misma (“priming effect”); de alguna manera, los fertilizantes pueden equipararse con el efecto del suero en el organismo humano, mantienen las actividades vitales pero no sanan un cuerpo enfermo. El uso de residuos orgánicos en agricultura constituye, por lo tanto, una forma efectiva de mantener, mejorar o recuperar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo por aporte de materia orgánica (efecto enmienda) y, dependiendo del origen y tratamiento de los mismos, también pueden actuar aportando nutrientes (**efecto fertilizante**)³.

Otro uso importante de los residuos orgánicos estabilizados es como **sustrato o mezcla de sustratos** en la producción en contenedores de especies hortícolas, ornamentales, etc., en reemplazo de turba y “tierra negra”. La turba es un recurso poco renovable actualmente bajo control dentro de la protección mundial de humedales, y la tierra negra tiene generalmente un origen dudoso, ya que muchas veces proviene del “robo” del horizonte superficial de suelos agrícolas y forestales (Laos et al., 2002; Ostos et al., 2008).

IV. ¿SE PUEDE USAR CUALQUIER TIPO DE RESIDUO ORGÁNICO EN AGRICULTURA?

Si bien la utilización de residuos orgánicos en agricultura es una política promovida en los países desarrollados, por ejemplo, en EEUU y la Unión Europea, también se han establecido normas estrictas para evitar efectos contaminantes y nocivos para la salud humana. Los contaminantes y límites ya establecidos se mantienen en discusión permanente reduciendo algunos y reglamentando otros no incluidos en las legislaciones previas. Tanto la USEPA (1993) como la Unión Europea (Council Directive, 1986) establecieron originalmente los límites de contaminación para el uso de lodos cloacales en agricultura, porque era un residuo no tradicional que potencialmente podía presentar una amplia diversidad de contaminantes, y se basaron en ellos para la regulación posterior de otros residuos como los orgánicos domiciliarios y los estiércoles.

³ Las leyes de varios países consideran como “fertilizantes orgánicos” a los productos o enmiendas con un contenido de N+P+K > 4-5%.

Considerando el caso de biosólidos, las regulaciones se han basado específicamente en cinco aspectos: metales pesados (elementos potencialmente tóxicos o PTEs), orgánicos traza (contaminantes orgánicos persistentes o POPs), patógenos, atracción de vectores y mineralización de N. La USEPA (1993) ha regulado 9 elementos pesados: Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, Hg, Se, Mo y As. Las normas europeas, si bien regulan menos elementos (no incluyen Mo, As y Se), han sido más estrictas respecto a los límites establecidos. Mientras los europeos se han basado en “principios de precaución”, los norteamericanos han utilizado “estimaciones de riesgo”, que han conducido aparentemente a valores demasiado permisivos (Brinton, 2000). Además de la concentración de elementos pesados, se regula la carga anual y la carga máxima admitida por hectárea y los europeos establecen diferentes límites en base al pH del suelo. Si bien las normas originales se basaron en analizar lodos cloacales, actualmente varios países europeos regulan la concentración de elementos pesados en residuos de cualquier origen (crudos o *a posteriori* de tratamientos de estabilización), pero mantienen separadas las regulaciones sobre lodos del resto de los residuos orgánicos (ver AbfKlärV, 1992; BioAbfV, 1998; AFNOR, 2002, 2005; BOE, 2005).

En el caso de los contaminantes orgánicos, el primer país en establecer límites fue Alemania en lodos cloacales (AbfKlärV., 1992; Düring & Gäth, 2002), y se han propuesto límites en lodos y compost para las nuevas directivas de la Unión Europea, que desde hace varios años se mantienen como borradores (Gómez Palacios y Estrada de Luis, 2005). Generalmente los contaminantes más estudiados y regulados pertenecen al grupo de los PAHs (hidrocarburos policíclicos aromáticos), PCBs (bifenilos policlorados), dioxinas (dibenzo-dioxinas policlorinadas) y furanos (dibenzo-furanos policlorinados). En EEUU por ahora se recomienda, pero no se exige, el análisis de varios contaminantes dentro del grupo de las dioxinas, los furanos y los PCBs (USEPA, 1999b).

El concepto de reducción de patógenos fue desarrollado en un principio en EEUU (USEPA, 1993) y luego adoptado en Europa. Se basa en el “principio de mejor tecnología disponible” (Best Available Technology o BAT) e incluye exigencias de tratamiento y límites de patógenos, generalmente coliformes fecales, *Escherichia coli* y/o *Salmonella*. La regulación de la USEPA sobre reducción de patógenos fue desarrollada originalmente para lodos cloacales, pero se utiliza de hecho para todo tipo de residuos (Brinton, 2000). También se regula la atracción de vectores a través de la exigencia de diferentes tratamientos de estabilización del material (USEPA, 1993). En Europa, las normas sobre control de patógenos en productos originados en lodos cloacales y residuos domiciliarios, se han extendido actualmente a todos los abonos de origen animal, como estiércoles, purines, residuos de lecherías, etc. (ver como ejemplo, BOE, 2005).

Un último aspecto que generalmente ha sido recomendado en las normas, es la aplicación de los residuos de acuerdo a la capacidad de mineralización de N de los mismos y la necesidad de N de los cultivos, a fin de evitar exceso de nitratos y contaminación de acuíferos. Dado que en general los residuos, especialmente los

estiércoles, presentan una relación N/P (~ 3/1) más baja que la relación de absorción de los cultivos (6-10/1), las aplicaciones sucesivas han conducido a la acumulación y contaminación de suelos y aguas con P. Si bien éste es un nutriente esencial, muchas veces limitante y de difícil obtención (las minas de P se están agotando), el exceso de P en el suelo es la principal causa de contaminación difusa y de eutrofización de aguas superficiales y subsuperficiales (Sharpley et al., 2003). Por esta razón, actualmente también se recomienda (pero no se exige) tener en cuenta la capacidad de liberación de P de los residuos respecto al existente en el suelo y a la necesidad de los cultivos.

V. EL COMPOSTAJE COMO EJEMPLO DE TRATAMIENTO DE ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Ya sea que los residuos sean enviados a disposición final o a uso beneficioso, requieren tratamientos previos que reduzcan el volumen a transportar, los olores y el riesgo de contaminación. En el caso de los lodos cloacales, los tratamientos más comunes para reducción de volumen son los de **espesamiento y deshidratación**, que incluyen floculación con productos químicos (cal, cloruro de Fe, sulfato de Al, polímeros), secado al aire (evaporación y drenaje en playas de secado sobre cama de arena) y sistemas mecánicos (filtros de vacío, filtros prensa de banda, centrifugas, prensas de membrana). Para reducción de olores, sólidos volátiles y patógenos se aplican tratamientos de **estabilización**, siendo los más comunes la estabilización alcalina (generalmente con cal), el secado térmico (que incluye muchas veces peletización) y los tratamientos biológicos como digestión aeróbica (tanques abiertos o cerrados con aireación), digestión anaeróbica (tanques cerrados y aprovechamiento de metano) y compostaje. Esta última forma de estabilización es a su vez el tratamiento más recomendado para todos los residuos que se aplican en agricultura, ya que en general asegura un producto final (compost) sin restricciones (USEPA, 1999a; Düring & Gäth, 2002; NEBRA, 2007).

Las definiciones clásicas de **compostaje** consideran que este proceso consiste en la transformación de materiales orgánicos crudos en un producto con valor agrícola, a través de la acción de microorganismos aeróbicos. Se origina en un material orgánico que, debido a una intensa actividad microbiana, pasa por una “etapa termofílica” (temperaturas > 45° y generalmente hasta 60°C) durante la cual se produce la reducción de patógenos y de semillas de malezas, y a continuación, por una “etapa de maduración” en la que se completa la estabilización de la materia orgánica (reducción de actividad biológica y de compuestos fácilmente digeribles) y se degradan sustancias fitotóxicas, finalizando en un producto inocuo, que no atrae vectores (“inodoro”) y que contiene nutrientes y materia orgánica estable, de lenta liberación de N (Zucconi & de Bertoldi, 1987; Costa et al., 1991; Rynk et al., 1992). La efectividad del proceso de compostaje para reducir patógenos y semillas de malezas y estabilizar la materia orgánica es lo que ha contribuido a que sea recomendado para todo tipo de residuos, especialmente los de origen animal.

A pesar de que este proceso es ampliamente utilizado y recomendado a nivel mundial, existe todavía confusión respecto al uso mismo del término “compostaje”, así

como también de otros como “estabilidad, madurez o calidad”. Debe tenerse en cuenta que si bien las primeras referencias a técnicas primitivas de compostaje se remontan a China, India y Japón hace 4000 años, los conceptos asociados a un proceso controlado, así como los métodos para analizarlos, eran prácticamente desconocidos hasta 1985 (Brinton, 2000). Es en este marco que surge la necesidad de establecer definiciones de procesos e indicadores que faciliten la comprensión de aquellos que se inician en el tema, la comunicación entre los que ya están trabajando y la elaboración de normas que regulen la utilización racional de los residuos orgánicos, especialmente en países en desarrollo, que se ocupan del tema desde hace aún menos tiempo (Mazzarino et al., 2012a). Si bien la definición de compostaje varía según los autores, hay consenso generalizado en restringir el uso del término para la descomposición “biológica, controlada y aeróbica” de un sustrato orgánico. Por lo tanto, es erróneo referirse al mismo como una “putrefacción o fermentación”, ya que estos términos no se ajustan a la definición del proceso y tienen connotaciones negativas, como es asociarlo a la generación de olores desagradables. Por otro lado, la definición como “proceso controlado” indica que se trata de un proceso intencional y dirigido, que no ocurre espontáneamente en la naturaleza⁴ (Golueke, 1991).

A las ventajas del compostaje ya mencionadas (control de patógenos y semillas de malezas, estabilidad de la materia orgánica), las normas regulatorias de los países desarrollados han agregado algunas limitaciones del material original que no son modificadas por el proceso (o muy poco), como es el caso de los metales pesados y orgánicos traza y el contenido de material inerte (plásticos, vidrio, piedras, etc.). Por lo tanto, en base a la definición de compostaje y a los posibles contaminantes de los residuos orgánicos, la calidad del compost depende, en primer lugar, del cumplimiento de “criterios ambientales precautorios” (Siebert, 2007), que incluyen valores límites para determinados elementos y compuestos orgánicos, patógenos, semillas viables de maleza, estabilidad de la materia orgánica y sustancias fitotóxicas (madurez). Una vez cumplimentados estos criterios, el concepto de calidad se focaliza en el valor agronómico, esencialmente en su valor como enmienda (mejorador de suelo) o fertilizante (aumento del rendimiento vegetal) (Mazzarino et al., 2012a).

Los posibles parámetros para evaluar el proceso y el compost obtenido son muchos y de diversa complejidad. Sin embargo, la combinación de unos pocos indicadores puede ser suficiente para estimar estabilidad y madurez, por ejemplo, carbono fácilmente degradable (soluble en agua o DQO), respiración microbiana (como producción de CO₂ o consumo de O₂), amonio, nitratos e índice de germinación (CCQC, 2001; Mazzarino et al., 2012a). En el caso de calidad, los parámetros más adecuados dependen del uso final, y pueden ser definidos de acuerdo a objetivos específicos (sustrato acidificante, reemplazo parcial de turba, fuente de P, mejorador de estructura, etc.). El principal desafío para identificar indicadores es lograr seleccionar aquellos que sean lo suficientemente representativos, y a la vez fáciles de interpretar y de medir en

⁴ Los procesos naturales de descomposición de hojarasca, barbecho de cultivos, etc. se producen a temperatura ambiente, sin control de la cantidad y calidad del sustrato original, condiciones de humedad y aireación y masa crítica, aspectos esenciales en el caso del compostaje.

análisis de rutina, a fin de facilitar el aprovechamiento de los residuos orgánicos disponibles y desalentar su uso sin controles

Por último, es importante destacar que el uso final de los compost puede no ser agronómico y por lo tanto, las exigencias pueden ser menores, como por ejemplo, en la biorremediación de suelos contaminados, donde compost inmaduros de alta actividad microbiana son más eficientes que compost maduros (Laos et al., 2012), o en el cierre de vertederos, donde pueden utilizarse compost con niveles más altos de metales pesados, o en restauración y fijación de taludes donde podría ser beneficioso aplicar compost contaminados con semillas (Kowaljaw & Varela, 2012)

VI. ESTUDIO DE CASO: COMPOSTAJE DE BIOSOLIDOS EN BARILOCHE, ARGENTINA.

A. Introducción

En Argentina no hay una ley que establezca la obligatoriedad del tratamiento de los líquidos cloacales, si bien los Códigos de Aguas de las provincias determinan parámetros de volcado en los cuerpos receptores, que solo pueden alcanzarse con un tratamiento adecuado de los mismos. En general, las plantas depuradoras son todavía escasas, y las que presentan un sistema avanzado de tratamiento (secundario o terciario) se restringen a ciudades chicas, generalmente con menos de 100.000 habitantes. San Carlos de Bariloche es una ciudad turística, rodeada de centros de esquí, lagos y bosques, de aprox. 140.000 habitantes permanentes y 500.000-700.000 visitantes por año, ubicada dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, al noroeste de la Patagonia. Durante 100 años, los líquidos cloacales de esta ciudad se descargaron directamente al Lago Nahuel Huapi, el mayor cuerpo de agua de la región (557 km²) y una de las principales atracciones turísticas. A fin de minimizar el riesgo ambiental y económico que implicaba esta descarga, se construyó una planta de tratamiento, que empezó a operar en el año 1996 a cargo de la Cooperativa de Electricidad Bariloche (CEB) por concesión provincial. La planta utiliza el sistema extendido de lodos activados, depura 70% de los efluentes y genera 3.000-4000 m³ anuales de lodos cloacales (12-15% de sólidos).

Al principio de su funcionamiento, como ha ocurrido con otras plantas de tratamiento instaladas en muchos países en desarrollo, el objetivo fundamental fue alcanzar los niveles de los parámetros exigidos para el volcado del líquido depurado en el cuerpo receptor, mientras que la línea de lodos no fue contemplada adecuadamente. A medida que empezaron a acumularse lodos, se fueron transformando en un serio problema económico y ambiental. Después de varias situaciones conflictivas con los vecinos y el Municipio, el destino final de los lodos fueron una serie de celdas construidas a tal efecto en el vertedero municipal con un alto costo mensual. Además, esto implicaba la pérdida de un recurso valioso, más aún considerando los severos disturbios antrópicos de la Patagonia, como desertificación, incendios y derrames de petróleo, cuya restauración se beneficiaría con el uso de materia orgánica y nutrientes. Con el apoyo de la Municipalidad de Bariloche y de la CEB, el Grupo de Suelos del CRUB (Universidad Nacional del Comahue) trabajó durante varios años en experiencias de compostaje de lodos con residuos de poda (chips de ~ 5 cm) y viruta de aserraderos

como agentes estructurantes⁵. Los resultados permitieron diseñar y poner en funcionamiento en Diciembre de 1997 la primera Planta de Compostaje de Biosólidos de la ciudad (y del país), con fondos de la CEB y controles de proceso y calidad del producto final a cargo del Grupo de Suelos del CRUB (Mazzarino et al., 2012b)

B. Características del proceso y el producto final

El proceso se realiza al aire libre en hileras (10-15 m de largo, 3-4 m de ancho y 1,6 m de altura) sobre plataformas de concreto. Se compostan aprox. 300 m³ de biosólidos por mes con un equivalente similar de estructurante en los meses secos de verano (relación 1:1 en volumen) y hasta 600 m³ en los meses fríos y húmedos de invierno (relación 1:2 en volumen). El proceso total dura entre 8 y 12 meses y se producen aprox. 4000 m³ por año de compost sin tamizar (humedad 45-50%). El compost se vende a granel o embolsado, tamizado (por malla de 5-10 mm) o sin tamizar. Para asegurar la reducción de patógenos, se aplican las exigencias de temperaturas y coliformes fecales de la USEPA (1993) para compost Clase A. Como límites de metales pesados se utilizan los establecidos por la USEPA (1993) para As, Mo y Se y los de la Unión Europea (Council Directive, 1986) para Cr, Cd, Zn, Cu, Hg, Ni y Pb. Como indicadores de estabilidad y madurez se utilizan: amonio (< 400 mg kg⁻¹), C soluble en agua (< 10 g kg⁻¹), relación C soluble en agua:N total (< 0,7) y test de germinación (índice de germinación > 60%, 7 días, dilución 1:10, ryegrass). El valor de los compost como enmienda y fertilizante se ha estudiado en ensayos de laboratorio, invernáculo y campo con especies nativas y exóticas de pastos, ornamentales y plantines de arbóreas, en ensayos de restauración de ecosistemas degradados por sobrepastoreo e incendios, y en ensayos de biorremediación de suelos contaminados con petróleo. A nivel local y regional, los compost son utilizados en la revegetación de taludes de caminos, viveros de ornamentales y arbóreas, producción de césped y paisajismo (Mazzarino et al., 2012b).

C. Marco legal en Argentina

En el momento en que la planta empezó a operar, la única ley que regulaba el destino final de los lodos en Argentina era la ley nacional 24.051/91 y el decreto reglamentario 831/93 (Ley de Residuos Peligrosos). Si bien esta ley contemplaba en el artículo 33 la posibilidad de uso beneficioso de los residuos, no lo reglamentaba, de manera que los únicos destinos posibles eran la incineración o la acumulación en vertederos. Dado el vacío legal en el tema, el Grupo de Suelos organizó reuniones en Bariloche entre autoridades municipales, provinciales y nacionales. En base a estas discusiones, el representante del Área Fertilizante del SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agro-Alimentaria) elaboró un proyecto de decreto en el marco de la ley nacional 20.466 (Ley de Fertilidad y Fertilizantes), que constituyó el marco legal provisorio para inscribir los compost obtenidos en Bariloche, y *a posteriori* otros producidos en otras localidades (Muñoz Ratto, 1999). Este decreto, que también regulaba el compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, contemplaba el uso de biosólidos solo en forma de compost (prohibía expresamente la

⁵ El uso de estos subproductos también contribuye a reducir incendios por combustión espontánea cuando son acumulados en vertederos, como ocurre frecuentemente en Bariloche.

aplicación al suelo de lodos con menor nivel de estabilización). La norma nunca fue aprobada de manera definitiva y en el año 2011 el SENASA aprobó el “Reglamento para el Registro de Fertilizantes y Enmiendas” donde **prohíbe expresamente la inscripción de compost elaborados en base a residuos orgánicos domiciliarios**, y para compost de biosólidos “que hayan sido obtenidos a partir de procesos registrados” (que no especifica), establece que la inscripción “podrá ser evaluada a través de auditorías efectuadas por funcionarios de este organismo, con el fin de definir la factibilidad de su autorización”.



Esta resolución del máximo organismo responsable de la calidad agro-alimentaria del país (dependiente del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca) se contrapone abiertamente con la Ley Nacional N° 25.916 (2004) de “presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios” y con la Estrategia Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU, 2005) de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (Ministerio de Salud y Ambiente), **que promueven al compostaje como tecnología de valorización de la fracción orgánica de los residuos.**

D. Impacto

La planta de compostaje de Bariloche es un ejemplo de cooperación entre una institución pública y una empresa privada que ha funcionado de manera continua desde hace 15 años, incluso durante períodos económicamente difíciles para el país. Dado que las regulaciones a nivel nacional son aún provisorias o inexistentes, la experiencia de Bariloche es usada como referencia por otros interesados en el compostaje de biosólidos en el país, y se ha entrenado a un gran número de técnicos e investigadores de Argentina y Chile (Mazzarino et al., 2012b).

VII. CONCLUSIONES

Los residuos orgánicos pueden ser utilizados como un recurso agronómico de alto valor como enmiendas y fertilizantes. Fundamentalmente su valor como enmienda contribuye a mantener y recuperar la materia orgánica del suelo y por lo tanto, la estructura, dinámica del agua, actividad biológica, provisión de nutrientes y control de la erosión. Además, pueden ser usados como sustratos en la producción en viveros, reduciendo el uso de turba y tierra negra.

Desde el punto de vista económico, la valorización agrícola de residuos orgánicos contribuye a disminuir el costo de construcción y mantenimiento de vertederos, y desde el punto de vista ambiental, a disminuir los gases de efecto invernadero (metano) y la contaminación de aguas y suelos por lixiviación puntual.

El suelo y el ambiente agrícola no pueden ser considerados como un depósito de residuos sino que éstos tienen que ser utilizados de acuerdo a las necesidades de los cultivos o de restauración de ambientes degradados, teniendo en cuenta criterios ambientales precautorios que eviten la contaminación de suelos y aguas.

Uno de los tratamientos de residuos orgánicos más económico y conveniente desde el punto de vista sanitario y ambiental es el compostaje, ya que asegura la reducción de patógenos y semillas de malezas y la estabilización de la materia orgánica (liberación lenta de nitratos).

Para certificar un compostaje efectivo son necesarios controles de proceso y de calidad, existiendo varios indicadores de fácil determinación en laboratorios de rutina, que no requieren alta tecnología.

El aprovechamiento de los residuos orgánicos de cualquier origen (urbano o agroindustrial) requiere un marco legal que establezca las condiciones de tratamiento y uso, facilitando su valorización y desalentando su uso sin controles. Es necesario remarcar que la falta de normas y las exigencias excesivas son igual de perjudiciales.

El trabajo conjunto entre organismos de investigación, de desarrollo y legislativo es fundamental para establecer un marco legal adecuado y sin contradicciones.

AGRADECIMIENTOS

A todos los que me acompañaron en estos 20 años de trabajo, en especial a Patricia Satti, Francisca Laos, Lucía Roselli, Susana Moyano, Ingrid Walter, Leslie Cooperband, Esteban Kowaljow, Paula Crego, Leonardo Poulsen y Horacio Fernández. A la parte del Estado argentino que confía en sus investigadores.

REFERENCIAS

- AbfKlärV. (1992). Klärschlammverordnung vom 15.04.1992. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1992, Teil 1, 912-934 (Sewage Sludge Ordinance)
- AFNOR. (2002). Amendements organiques - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux. NF U 44-095. Association Française de Normalisation. (Organic soil improvers : Composts containing substances essential to agriculture, stanning from water treatment)
- AFNOR. (2005). Dénominations, spécifications et marquage. Pr NF U 44-051. Association Française de Normalisation. (Organic soil improvers : Designations, specifications and marking. Sludge is excluded)
- BioAbfV. (1998). German Bioabfallverordnung, Bundesgesetzblatt G 5702 Bonn 28. Sept. 1998 (revised March 1999) English Translation Available: Utilisation of Bio-Wastes on Land used for Agricultural, Silvicultural and Horticultural Purposes.
- BOE. (2005). Real Decreto N° 824 sobre productos fertilizantes. BOE N° 171, 25592-25669, Ministerio de la Presidencia. España.
- Brinton, W.F. (2000). Compost Quality Standards & Guidelines. Woods End Research Laboratory. Final Report for New York State Association of Recyclers.
- CCQC. (2001). Compost Maturity, Index, Technical Report. California Compost Quality Council. www.ccqc.org
- Cooperband, L. (2000). Sustainable use of by-products in land management. En: *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products*. (Eds.) Bartels, J.M. & Dick, W.A. SSSA Book Series N° 6, Madison, WI. USA. pp. 215-235.

- Costa, F., García, C., Hernández, T. & Polo, A. (1991). *Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización*. Consejo Sup. Invest. Científicas (CSIC)-CEBAS, Murcia, España. 181 pp.
- Council Directive. 1986. CEC-Council of the European Communities. Council directive on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. 86/278/EEC.
- Düring, R. A. & Gäth, S. 2002. Utilization of municipal organic wastes in agriculture: where do we stand, where will we go? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165, 544-556.
- ENGIRSU (2005). Estrategia Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), Ministerio de Salud y Ambiente, Argentina.
- Epstein, E. (1997). *The Science of Composting*. CRC Press, USA. 504 pp.
- FEAD (2009) European Federation of Waste Management and Environmental Services. www.fead.be
- Gies, G. (1997). Developing compost standards in Europe. *BioCycle*, 38 (10), 82-83.
- Golueke, C.G. 1991. Understanding the process. En: Staff of BioCycle (Eds.). *The BioCycle Guide to the Art and Science of Composting*. JG Press, Inc., Emmaus, PA, USA. pp. 14-27.
- Gómez Palacios, J.M. & Estrada de Luis, I.B. (2005). Indices de calidad de suelos y compost desde la perspectiva agro-ecológica. *II Congreso sobre Residuos Biodegradables y Compost - El reto de fomentar el consumo de los productos finales*. 20 y 21 octubre, Sevilla, España. 15 pp.
- Halbach, T.R. & Thomas, S. (2005). Organic fraction of municipal solid waste in Colombo, Sri Lanka. *World Congress of the International Solid Waste Association "Towards Integrated Urban Solid Waste Management System"*, Buenos Aires, Argentina.
- Kowaljaw, E. & Varela, S. (2012). Presencia de semillas viables en compost. En: Mazzarino, M.J. & Satti, P. (Eds). *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. pp. 67-74.
- Laos, F., Mazzarino, M.J., Walter, I., Roselli, L., Satti, P. & Moyano, S. (2002). Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia. *Bioresource Technology*, 81, 179-186.
- Laos, F., Mazzarino, M.J., Roselli, L. & Satti, P. (2012). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. En: Mazzarino, M.J. & Satti, P. (Eds). *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. pp. 257-269.
- London Convention & Protocol (1996). Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter 1972 and 1996 Protocol Thereto. Office for the London Convention and Protocol. www.imo.org
- Mazzarino, M.J., Satti, P. & Roselli, L. (2012a) Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: Mazzarino, M.J. & Satti, P. (Eds). *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. pp.13-28.

- Mazzarino, M.J., Satti, P., Laos, F., Roselli, L., Crego, M.P., Kowaljow, E., Fernández, H. & Poulsen, L. (2012b). Compostaje de biosólidos: 12 años de la Planta de Bariloche. En: Mazzarino, M.J. & Satti, P. (Eds). *Compostaje en Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina. pp. 99-106
- Muñoz Ratto, E. (1999). Proposed regulations for the agricultural evaluations of biosolids. En: *Disposal of Biosolids. AIDIS, Argentina & International Water Association*. Buenos Aires, Argentina. 8 pp.
- NEBRA (2007). A National Biosolids Regulation, Quality, End Use & Disposal Survey. North East Biosolids and Residuals Association (NEBRA). www.nebiosolids.org
- Ostos, J.C., López-Garrido, R., Murillo, J.M. & López, R. (2008). Substitution of peat for municipal solid waste- and sewage sludge-based compost in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. *Bioresource Technology* 99, 1793-1800.
- Proyecto LADA (2003). Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas. FAO-Secr. Ambiente y Desarrollo Sustentable, Argentina. www.ambiente.gov.ar
- Rynk, R., van der Kamp, M., Willson, G.B., Singley, M.E., Richard, T.L., Kolega, J.J., Gouin, F.R., Laliberty, L., Kay Jr., D., Murphy, D.W., Hoitink, H.A. & Brinton, W.F. (1992). *On-farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Coop. Extension Service. Ithaca, N.Y. USA. 186 pp.
- Sharpley, A.N, Daniel,T., Sims, T., Lemunyon, J., Stevens, R. & Parry, R. (2003). Agricultural Phosphorus and Eutrophication. Second Edition. USDA-ARS. ARS–149, U.S.Gov. Print. Office, Washington, DC. 38 pp.
- Schlesinger, W.H. (1991). *Biogeochemistry: An analysis of Global Change*. Academic Press, Inc., San Diego, CA, USA.
- Siebert, S. (2007). Compost from biodegradable waste-Status and results of quality assurance in Germany. *Advances in Bio-treatment in Europe: Part II. US Composting Council, 15th Annual Confer. & Tradeshow*, Orlando, FL, USA.
- USEPA. (1993). Standards for the use or disposal of sewage sludge. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C., EEUU. Federal Register 58:9248-9415.
- USEPA (1999a). Biosolids generation, use, and disposal in the United States. U.S. Environmental Protection Agency, Municipal and Industrial Solid Waste Division, Office of Solid Waste. EPA530-R-99-009. 74 pp.
- USEPA. (1999b) Standards for the use or disposal of sewage sludge. 40CFR Part 503. Proposed rule. Washington, D.C., USA. Federal Register 64:72045-72062.
- USEPA (2010). Municipal Solid Waste. www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/index.htm
- Vian Ortuño, A. (1994). El residuo como significación y como voluntad. *III Congreso Internacional de la ANQUE: "Residuos sólidos y líquidos: su mejor destino"*, Tenerife, España. 10 pp.
- Zucconi, F. & de Bertoldi, M. (1987). Compost specification for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: de Bertoldi, M., Ferranti, M.P., Hermite, P.L. & Zucconi, F. (Eds.). *Compost: Production, Quality and Use*. Elsevier Applied Science Publishers, Barking. pp. 30–50.