

Compostaje de biosólidos: 12 años de la planta de Bariloche

7

María Julia Mazzarino^{1,2,3}, Patricia Satti^{1,3}, Francisca Laos³, Lucía Roselli¹,
María Paula Crego¹, Esteban Kowaljow^{1,2}, Horacio Fernández⁴ y Leonardo Poulsen⁴

¹Grupo de Suelos del CRUB (Universidad Nacional del Comahue), ²CONICET,

³Universidad Nacional de Río Negro, ⁴Servicio Saneamiento-Cooperativa de Electricidad Bariloche.
Bariloche, Argentina. mazzarinomj@comahue-conicet.gob.ar

RESUMEN

La Planta de Compostaje de biosólidos de Bariloche fue la primera construida en el país siguiendo normas internacionales para estos materiales y se encuentra en funcionamiento desde diciembre de 1997. 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, mezclando los biosólidos con viruta de madera y chips de poda como agentes estructurantes. Se compostan 200-300 m³ de biosólidos por mes utilizando una proporción biosólidos: estructurante que varía entre 1:1 y 1:2 en volumen; esta última proporción se utiliza en los meses fríos y húmedos de invierno. El proceso total dura entre 8 y 12 meses. Se producen aproximadamente 3.000 m³ por año de compost sin tamizar. Para asegurar la reducción de patógenos, se aplican las exigencias de temperaturas y coliformes fecales de la USEPA para compost Clase A. Como límites de elementos potencialmente tóxicos (en biosólidos y compost) se utilizan los establecidos por la USEPA para As, Mo y Se y los de la Unión Europea para Cr, Cd, Zn, Cu, Hg, Ni y Pb. Los análisis de calidad de compost se completan con los indicadores de madurez descriptos en el Capítulo 6. El valor de los compost como enmienda y fertilizante se estudia en ensayos de laboratorio, invernáculo y campo con participación de consumidores locales (viveros forestales y de ornamentales, empresas viales y petroleras, programas de restauración). Dada la carencia de normas a nivel nacional, la experiencia de Bariloche es usada como referencia por otros interesados en el compostaje de biosólidos en el país.

INTRODUCCIÓN

Debido a la falta de regulaciones que establezcan la obligatoriedad del tratamiento de los líquidos cloacales, las plantas de tratamiento son todavía escasas en la Argentina, 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 glaciares y bosques templados, de aproximadamente 130.000 habitantes permanentes y 500.000-700.000 visitantes por año, ubicada dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, al NO de la Patagonia (41°05'S, 71°20'O). 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 aproximadamente 2.500-3.500 m³ anuales de lodos cloacales (12-15 % de sólidos).

Al principio de su funcionamiento, el destino final de los lodos eran celdas en el vertedero municipal (ver Capítulo 23). Esto implicaba la pérdida de un recurso valioso, más aún considerando las características particulares de la Patagonia con severos problemas de desertificación, incendios y derrames de petróleo. Los lodos cloacales constituyen un recurso disponible localmente, que puede contribuir a la restauración de suelos a través del aporte de materia orgánica y nutrientes; por otro lado, su uso beneficioso reduce el riesgo de contaminación puntual y los costos de disposición en vertederos. El compostaje es uno de los procesos más recomendado para transformar lodos cloacales en una enmienda de alto valor agrícola (USEPA, 1999; Düring y Gäth, 2002). Para que el proceso sea eficiente, se utilizan estructurantes ricos en carbono que colaboran a mantener la aireación necesaria para una adecuada actividad microbiana (Costa *et al.*, 1991; Golueke, 1991). El uso de chips de poda y viruta como estructurantes también contribuye a reducir incendios por combustión espontánea cuando son acumulados en vertederos, como ocurre frecuentemente en Bariloche (Anónimo, 2009, 2010).

Con el apoyo de la Municipalidad de Bariloche y de la CEB, el Grupo de Suelos del CRUB trabajó durante varios años en la factibilidad de utilizar los lodos cloacales como un recurso agronómico. Para ello se realizaron experiencias de caracterización de los lodos regionales y de manejo de los mismos en aplicación directa y compostaje, incluyendo estudios de laboratorio, invernáculo y campo (ver aplicación directa en Laos *et al.*, 1996; Mazzarino *et al.*, 1998 y compostaje en Capítulo 6). También se realizaron intercambios con investigadores relacionados al tema, y visitas a centros internacionales de investigación y empresas públicas y privadas de compostaje en EEUU y España. Como resultado, se diseñó y se puso en funcionamiento, en diciembre de 1997, la primera Planta de Compostaje de Lodos Cloacales de la ciudad, con fondos de la CEB y controles de proceso y calidad del producto final a cargo del Grupo de Suelos del CRUB. La Planta de Compostaje de Bariloche fue la primera del país en cumplir con normas internacionales para compost de biosólidos. Hasta el año 2005, operaba en un predio de 2 hectáreas dentro del campo de un productor privado; a partir de esa fecha, fue reemplazada por una nueva planta en un sitio de mayor superficie entregado en comodato a la CEB por la Municipalidad.

PROCESO DE COMPOSTAJE Y CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

Aproximadamente 200-300 m³ de biosólidos son compostados mensualmente en hileras (10-15 m largo, 3-4 m ancho y 1,6 m altura) mezclados con viruta y chips de poda (poda picada en chipeadora a aproximadamente 5-10 cm). Las hileras se arman

y voltean con una pala frontal en plataformas de concreto. Para alcanzar las temperaturas requeridas para reducción de patógenos (USEPA, 1993), se utiliza una mezcla de biosólidos y estructurante que varía entre 1:1 y 1:2 en volumen. El clima de la región se caracteriza por veranos secos (14 °C de temperatura media y 140 mm de precipitación total entre noviembre y marzo) e inviernos fríos y húmedos (2 °C de temperatura media y 540 mm de precipitación total entre junio y septiembre); por lo tanto, en los meses de invierno se utiliza mayor proporción de estructurante, más poda chipeada que viruta y las hileras se cubren eventualmente con plástico. El proceso de compostaje (fases termofílica y de maduración) dura entre 8 y 12 meses, siendo más rápido a mayor frecuencia de volteos. Se producen aproximadamente 3.000 m³ por año de compost sin tamizar; el tamizado por malla de 5 mm reduce el volumen en 50 %. El compost se vende a granel o embolsado, tamizado o sin tamizar.

Dado que Bariloche es una ciudad turística sin influencia industrial, las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (PTEs) son bajas; durante los dos primeros años se analizó mensualmente en los biosólidos la concentración de Cd, Cr, Cu, Zn, Pb, As, Ni, Hg, Se y Mo, luego cada 3 meses y actualmente cada 6 meses en los biosólidos y en los compost. Se utilizan como referencia los límites establecidos para biosólidos por la Unión Europea (Council Directive, 1986) para Cd, Cr, Cu, Zn, Pb, Ni y Hg y por la USEPA (1993) para As, Mo y Se, y los establecidos para compost por algunas regulaciones europeas (BioAbfV, 1998; AFNOR, 2005; BOE, 2005). Para asegurar una reducción de patógenos que permita clasificar los compost como Clase A (USEPA, 1993), se consideran las siguientes exigencias: (i) temperaturas ≥ 55 °C durante 15 días con al menos 5 volteos, o temperaturas ≥ 55 °C durante dos períodos de 3 días consecutivos con un volteo en el medio, y (ii) coliformes fecales < 1.000 NMP/g de materia seca. Cuando las temperaturas son menores a 55 °C pero mayores a 40 °C durante 5 días, el producto es considerado Clase B y almacenado por 2 veranos para asegurar reducción de patógenos. Cuando no se alcanza ninguna de estas temperaturas, como ocurre muchas veces en invierno (Fig. 7-1), el material se almacena en un sector separado y vuelve a mezclarse con biosólidos frescos durante los meses de primavera y verano. Al comienzo de la instalación de la planta, se realizaron análisis de *Ascaris* (helminthos) en varias oportunidades en los biosólidos sin compostar; las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Parasitología del CRUB y no se encontraron huevos viables (ver Capítulo 3).

La estabilización y maduración de los compost se estima a través de los siguientes indicadores: amonio (< 400 mg/kg), C soluble en agua (< 10 g/kg), relación amonio/nitratos ($< 0,5$), relación C soluble en agua/N total ($< 0,7$) y test de germinación (índice de germinación > 60 %, 7 días, dilución 1:10, ryegrass). La calidad del compost como fuente de materia orgánica (valor como enmienda) y nutrientes (valor fertilizante) se evalúa a través de análisis químicos (pH, conductividad eléctrica, N y P total y disponible y C, Ca, Mg y K total) y biológicos (respiración y mineralización de N). En la Tabla 7-1 se presentan valores medios de las características de los compost obtenidos. Como la fase de maduración se realiza al aire libre en un área rodeada de vegetación, también se han conducido ensayos para estimar semillas viables, pero no han sido implementados como análisis de rutina (ver Capítulo 5).

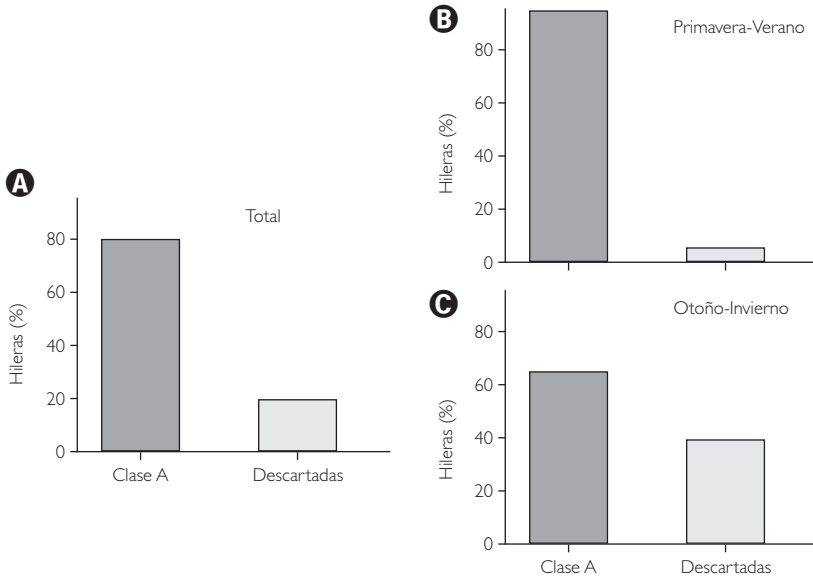


Figura 7-1. Porcentaje de hileras que alcanzaron las temperaturas requeridas para compost Clase A y número de hileras que no la alcanzaron (descartadas) durante 12 años de operación de la Planta de Compostaje de biosólidos de Bariloche. Valores calculados en base a la producción: A) total de hileras, B) hileras de primavera-verano (octubre a marzo) y C) hileras de otoño-invierno (abril a septiembre).

Tabla 7-1. Concentración de elementos potencialmente tóxicos (PTEs) y características químicas y biológicas de los compost de biosólidos de la Planta de Bariloche (tamizados por 0,5 cm). Datos adaptados de Laos (2003), Mazzarino *et al.* (2004), Kowaljow y Mazzarino (2007), Satti (2007) y Tognetti *et al.* (2008).

PTEs (mg/kg)									
Cd	Cr	Mo	Pb	As	Se	Zn	Cu	Ni	Hg
< 1	15-20	< 2	50-60	3-4	< 1,0	80-300	40-90	15-20	< 1,0
Características químicas									
pH	CE (dS/m)	C orgánico (%)	Elementos totales (%)					P extraíble (g/kg)	
			N	Ca	K	Mg	P		
6,5-6,7	1,2-2,4	23-27	1,4-1,9	1,4-1,7	0,3-1,0	0,6-0,8	1,3-1,4	1,3-1,8	
Características biológicas (16 semanas de incubación con diferentes suelos a dosis de 40 g/kg)									
N inorg. total ^a (mg/kg)		N mineralizado/NT agregado (%)		C mineralizado (mg/kg)		C mineralizado/CT agregado (%)			
60-100		5-10		1.200		6			

^aN inorgánico total = N inorgánico inicial + N mineralizado (descontando suelo sin compost). CE: conductividad eléctrica.

Las principales limitaciones de la Planta de Compostaje de Bariloche son el costo de transporte de los biosólidos (se encuentra a 12 km de la planta de tratamiento de líquidos cloacales), la disponibilidad de agentes estructurantes en invierno y los robos. Esto último obliga a que la maquinaria sea transportada diariamente al sitio y aumenta los costos operativos; tampoco se pueden emplear tinglados y cercas de alambres (las cubiertas de plástico también pueden desaparecer), lo que limita el mejoramiento de la infraestructura y la eficiencia del proceso.

MARCO LEGAL

En el momento en que la planta empezó a operar, la única ley que regulaba el destino final de los lodos en la 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 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 del uso beneficioso de biosólidos, el Grupo de Suelos organizó reuniones en Bariloche durante 1997 y 1998 entre autoridades municipales, provinciales y nacionales¹, con el apoyo del INIA de Madrid, España (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria). En base a estas discusiones, el representante del Área Fertilizantes del SENASA elaboró un proyecto de decreto en el marco de la Ley Nacional 20.466 (Ley de Fertilizantes), que constituyó el marco legal provisorio para inscribir los compost obtenidos en Bariloche, y a posteriori otros como los de Aguas de Corrientes S.A. (Arquier *et al.*, 1999; 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; establecía límites para PTEs en biosólidos y suelos de acuerdo a las normas de la Unión Europea y EEUU (Council Directive, 1986; USEPA, 1993); regulaba los controles de proceso para reducción de patógenos en pilas estáticas y con volteos según las normas de la USEPA (1993) y establecía algunos parámetros de calidad para el producto final. Cumplimentando con esta norma, los compost de biosólidos de Bariloche fueron registrados en el SENASA con el N° 13.283 y se comercializaban bajo el nombre de “Vitaplanta”. La norma nunca fue aprobada de manera definitiva y actualmente el SENASA no inscribe nuevos productos en base a biosólidos. Desde 2001, también existe una resolución del Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente (MDSyMA, 2001) que norma el uso beneficioso de biosólidos en el ámbito agrícola/ganadero, forestal, recuperación de suelos degradados, restauración del paisaje y como insumo de abonos y enmiendas. El ámbito de aplicación está restringido a las áreas de prestación de servicios de agua y cloacas concesionadas por el gobierno nacional (área metropolitana bonaerense y el entorno rural inmediato a esta región). En conclusión, el país no cuenta actualmente con una norma nacional sobre el uso beneficioso de biosólidos (ver Capítulo 4).

¹ Con participación del CRUB (UNComahue), INTA-Bariloche, Dirección Provincial de Aguas-Viedma y DPA-Bariloche, Parques Nacionales-Bariloche, IV Zona Sanitaria-Río Negro, SENASA-Bariloche, SENASA-Buenos Aires y Consejo de Ecología y Medio Ambiente-Río Negro.

USOS DEL COMPOST

Los compost producidos en la Planta de Compostaje de Biosólidos de Bariloche han sido estudiados en experimentos de 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. Además de este nivel experimental, los compost de biosólidos de Bariloche son utilizados a nivel local y regional en la revegetación de taludes de caminos, viveros de ornamentales y arbóreas, producción de césped y paisajismo. En la Tabla 7-2 se resumen algunos resultados del uso de estos compost en restauración y biorremediación.

La aceptación de los consumidores durante los primeros años fue escasa, y se acumularon grandes pilas de compost maduro en la Planta de Compostaje, lo que produjo contaminación con semillas de la vegetación circundante. Después de varios años de talleres y jornadas de extensión y transferencia de resultados en escuelas y centros públicos, la demanda fue aumentando de manera continua, y actualmente se vende toda la producción.

Tabla 7-2. Algunos ejemplos de uso de los compost de biosólidos de Bariloche en restauración y biorremediación en el NO de Patagonia.

Restauración/ biorremediación	Proceso de degradación	Actividad	Resultados
Restauración de pastizales ^{1,2}	Pastizal semiárido incendiado (suelo arenoso, Entisol)	Aplicación de compost tamizado y sin tamizar a 20 y 40 t/ha	Aumento de mat. orgánica, nutrientes (N, P) y actividad biológica del suelo. Aumento de biomasa de pastos
Restauración de bosques ^{3,4}	Deforestación e incendios en bosques de <i>Austrocedrus chilensis</i> (Andisoles)	Producción de plantines usando 30 % y 50 % de compost como sustrato. Plantación a campo	Mayor crecimiento de plantines a mayor dosis. Sin efecto en la supervivencia a campo
Fijación de taludes de caminos ⁵	Erosión y derrumbe de taludes	Revegetación usando compost mezclado con suelo al 10 %	Mayor revegetación que en suelos sin compost
Biorremediación ⁶	Suelos contaminados con hidrocarburos	Compost inmaduro y maduro mezclado con suelo contaminado (1:1, v/v)	Inmaduro: reducción del 47 % de HEM ^a en 6 meses Maduro: reducción del 20 % de HEM en 6 meses

¹Kowaljow y Mazzarino (2007), ²Kowaljow et al. (2010), ³Basil et al. (2009), ⁴Namiot et al. (ver Capítulo 14), ⁵Pedre (2009),

⁶Laos et al. (ver Capítulo 20). ^aHEM: Materiales extractables con N-hexano.

CONSIDERACIONES FINALES

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 12 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. Así, por ejemplo, se construyeron plantas en Corrientes (Arquier *et al.*, 1999), se condujeron ensayos piloto en Mar del Plata (ver Capítulo 8) y se ha entrenado a un gran número de técnicos e investigadores de la Argentina y Chile.

BIBLIOGRAFÍA

- 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)
- Anónimo.** 2009. Incendios en el vertedero. En: Bariloche 2000. Diario digital. <http://www.bariloche2000.com/la-ciudad/informacion-general/38138-incendio-en-el-vertedero.html>
- Anónimo.** 2010. Controlaron un nuevo incendio en basural de Bariloche. En: Diario Rio Negro. Versión digital. <http://www.rionegro.com.ar/diario/rn/nota.aspx?idart=342340&idcat=9708&tipo=2>
- Arquier, M.; Román N. y Paez H.** 1999. Gestión para la valorización de biosólidos generados en plantas de tratamiento de líquidos cloacales. En: Actas del Seminario sobre Disposición de Biosólidos. International Water Association y AIDIS Argentina, Bs. As., Argentina. 14 pp.
- Basil, G.; Mazzarino M.J.; Roselli L. y Letourneau F.** 2009. Efecto del compost de biosólidos en la producción de plantines de *Austrocrepus chilensis* (ciprés de la cordillera). *Ciencia del Suelo* 27: 49-55.
- BioAbfV.** 1998. German Bioabfallverordnung, Bundesgesetzblatt G 5702 Bonn 28. Sept. 1998 (revised March 1999). English Translation: 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.
- Costa, F.; García C.; Hernández T. y Polo A.** 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. 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. y 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.
- 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., Pennsylvania, EEUU. pp. 14-27.
- Kowaljow, E. y Mazzarino M.J.** 2007. Soil restoration in semiarid Patagonia: Chemical and biological response to different compost quality. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 1580-1588.
- Kowaljow, E.; Mazzarino M.J.; Satti P. y Jimenez C.** 2010. Organic and inorganic fertilizer effects on a degraded Patagonian rangeland. *Plant and Soil* 332:135-145.
- Laos, F.** 2003. Compostaje de residuos orgánicos de actividades productivas y urbanas en la región Andino-Patagónica: determinación de índices de madurez para su utilización agronómica. Tesis Doctorales INIA N° 1, Serie Agrícola. INIA, Madrid, España.
- Laos, F.; Mazzarino M.J.; Satti P.; Roselli L. y Costa G.** 1996. Liberación de nutrientes de residuos orgánicos derivados de actividad piscícola y urbana en la Región Andino-Patagónica, Argentina. *Ciencia del Suelo* 14: 24-29.
- Ley Nacional N° 20466.** 1973. Reglamentación, contralor de la elaboración, importación, exportación, tenencia, fraccionamiento, distribución y venta de fertilizantes y enmiendas, en todo el territorio de la República (Decreto Reglamentario N° 4830 y Resoluciones 244/89, 310/94 y 410/94), Argentina.
- Mazzarino, M.J.; Laos F.; Satti P. y Moyano S.** 1998. Agronomic and environmental aspects of utilization of organic residues in soils of the Andean-Patagonian region. *Soil Science and Plant Nutrition* 44: 105-113.
- Mazzarino, M.J.; Satti P.; Moyano S. y Laos F.** 2004. Compost de biosólidos: efecto del tamizado en la inmovilización de nitrógeno del suelo. *Ciencia del Suelo* 22: 19-26.
- MDSyMA (Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente).** 2001. Reglamento para el Manejo de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos. Resolución 097/01, Argentina. 20 pp.
- Muñoz Ratto, E.** 1999. Proyecto de reglamentación para la valorización agrícola de los biosólidos. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria Argentina (SENASA). En: Actas del Seminario sobre Disposición de Biosólidos. International Water Association y AIDIS Argentina, Bs. As., Argentina. 8 pp.

- Pedre, D.** 2009. Usos de compost en paisajismo: revegetación de taludes. Primer Taller sobre compostaje: Tecnología para la Producción y el Medio Ambiente, Bariloche. (Resumen en CD Rom).
- Satti, P.** 2007. Biodisponibilidad de P y N en suelos volcánicos bajo bosque nativo, disturbados y enmendados. Tesis Doctoral Biología, CRUB-UNComahue, Bariloche, Argentina.
- Tognetti, C.; Mazzarino M.J. y Laos F.** 2008. Compost of municipal organic waste: effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 2290-2296.
- USEPA.** 1993. Standards for the use or disposal of sewage sludge. Part 503. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C., EEUU. Federal Register 58: 9248-9415.
- USEPA.** 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. Solid Waste and Emergency Response (5306W). EPA530-R-99-009.