



Universidad Nacional del Comahue
Centro Regional Universitario Bariloche

Efectos del proceso de compostaje de lodos cloacales sobre la viabilidad de las semillas.

Trabajo Final para optar por el título de Licenciado en Ciencias
Biológicas



Fenner Pablo Nicolás

Directora: Dra. Marina Gonzalez-Polo

Co-Directora: Dra. Patricia Satti

**Grupo de Suelos. INBIOMA-Universidad Nacional, del Comahue, Centro
Regional, Universitario Bariloche, (CRUB), San Carlos de Bariloche,
Argentina.**

Julio 2023

1 Resumen

El aumento desmedido de la generación de residuos es uno de los principales problemas hoy en día para la humanidad. En el caso de los residuos orgánicos, el compostaje es la forma de manejo más recomendada a nivel mundial. En la ciudad de San Carlos de Bariloche se compostan lodos cloacales desde 1997, cumpliendo con todas las normas recientemente promulgadas, sin embargo, un aspecto no regulado es la presencia de semillas viables, que baja la calidad del producto final. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del proceso de compostaje de lodos cloacales sobre la viabilidad de las semillas de cinco especies exóticas presentes en la región (*Cytisus scoparius*, *Dipsacus sativus*, *Pinus ponderosa*, *Lolium perenne* y *Solanum lycopersicum*). También se estudió el posible ingreso de semillas del ambiente circundante a las pilas durante todo el proceso. El ensayo se realizó en la Planta de compostaje de lodos cloacales de Bariloche. Se utilizaron 3 pilas de compostaje independientes, en las que se colocaron semillas a tres profundidades: superficial (0,5 m respecto a la superficie), medio (1 m respecto a la superficie) y profundo (1,4 m respecto a la superficie), y dos períodos de incubación (volteos 3 y 5), que conformaron los 6 tratamientos. Además, se midió la capacidad germinativa del posible banco de semillas presente en el compost, en la etapa de maduración y en la etapa de tamizado. El proceso de compostaje de lodos cloacales redujo el porcentaje de germinación y el de viabilidad de todas las especies, ya que ninguna semilla germinó luego del tratamiento exceptuando la especie *C. scoparius*. Por último, no se encontró germinación de semillas en las muestras tomadas de las pilas en maduración, sin embargo, sí se encontró en las muestras tomadas con posterioridad al traslado y tamizado final del compost maduro.

Palabras claves: biosólidos, etapa termofílica, análisis de tetrazolio.

2 Abstract

The excessive increase in the generation of waste is one of the main problems for humanity today, and one of the most recommended forms to manage adequately organic waste is composting. In the city of San Carlos de Bariloche, the composting of sewage sludge with woodshavings and yard trimmings has been carried out since 1997, complying with all recent regulations. However, one aspect that is not regulated in national laws is the presence of viable seeds that reduce the quality of the final product. The objective of this work was to investigate the impact of the sewage sludge composting process on viability the seeds of five exotic species present in the region (*Pinus ponderosa*, *Cytisus scoparius*, *Dipsacus sativus*, *Lolium perenne* and *Solanum lycopersicum*). In addition, the possible income of seeds from the environment into the windrows throughout the composting process was investigated. The work was carried out in the sewage sludge composting plant of Bariloche. Three independent compost windrows were used, into which seeds were introduced at three depths: shallow (0.5 m with respect to the surface), medium (1 m with respect to the surface), and deep (1.4 m with respect to the surface), and two different working times (turns 3 and 5) corresponding to the 6 treatments. The 5 seed species used were subjected to a germination test and then to a viability test. In addition, the germination capacity of the seed bank possibly present in the compost was measured at the maturity and screening stages. It was found that no seeds germinated after thermophilic stage and only two species had a percentage of viability that was not zero. The sewage sludge composting process reduced the germination percentage and viability of all species to zero or values close to it, except for the species *C. scoparius*. Germination of seeds was not detected in samples taken from the mature compost piles, but was detected in samples taken after turning the mature compost and final screening.

Índice

1 Resumen	2
2 Abstract	3
3 Introducción.....	6
3.1 Los residuos.....	6
3.1.1 Problemática de los residuos.....	6
3.1.2 El tratamiento de residuos orgánicos urbanos.....	8
3.1.3 Ventajas del compostaje.....	9
3.1.4 Usos del compost	9
3.2 El proceso de compostaje.....	10
3.3 Control del proceso de compostaje.....	13
3.3.1 Semillas Viables en el Compost	14
3.4 Contaminación del compost con semillas y sus características fisiológicas	15
3.4.1 Características de las semillas	16
3.4.2 Presencia de semillas en la planta de compostaje de San Carlos de Bariloche.....	18
3.5 Objetivos	18
3.5.1 Objetivos específicos	19
4 Materiales y Métodos	19
4.1 Sitio de estudio: Planta de compostaje de lodos cloacales.....	19
4.2 Diseño Experimental.....	21
4.2.1 Especies a utilizar en el ensayo y su importancia ecológica.....	22
4.3 Medición del porcentaje de germinación y viabilidad.	22
4.3.1 Porcentaje de germinación	22
4.3.2 Prueba de tetrazolio para viabilidad.....	23
4.4 Presencia de banco de semillas.....	26
4.4.1 Compost en maduración.....	26
4.4.2 Compost maduro tamizado.....	27
4.5 Análisis estadístico.....	27
5 Resultados	28
5.1 Temperatura de las pilas a lo largo del proceso.	28
5.2 Porcentaje final de semillas recuperadas luego de la cosecha, y análisis de turgencia.	30
5.3 Porcentaje de germinación.	31

5.4 Intensidad de Tinción.....	32
5.5 Porcentaje de Viabilidad	35
5. 6. Germinación del banco de semillas	37
5. 6. 1. Recuento de plántulas en pilas en maduración	37
5. 6. 2. Recuento de plántulas en compost maduro tamizado	37
6 Discusión.....	38
6. 1 Temperatura de las pilas a lo largo del proceso	38
6. 3 Porcentaje de germinación	40
6. 4 Porcentaje de viabilidad.	42
6. 5. Germinación del banco de semillas	44
6. 5. 1. Recuento de plántulas en pilas en maduración	44
6. 5. 2. Recuento de plántulas en compost maduro tamizado.	44
7 Conclusión.....	45
8 Bibliografía	46
9 Anexos	52

3 Introducción

3.1 Los residuos

3.1.1 Problemática de los residuos

El crecimiento industrial, el aumento en la población, el consumo desmedido y la indiferencia frente a los altos niveles de contaminación de los actores involucrados, son el principal origen de los problemas ambientales que padecemos hoy en día. A finales del siglo XX, la contaminación llegó a niveles sin precedentes, convirtiéndose en una preocupación generalizada y en un tema prioritario en la agenda de los actores políticos y sociales en el mundo. Sin embargo, el panorama no ha cambiado mucho: en la actualidad una de las más grandes preocupaciones de la sociedad es el cuidado y restauración de los ecosistemas, con el fin de remediar los daños que el ser humano ha causado para evitar que se siga deteriorando el medio ambiente. Dentro de los problemas ambientales, el aumento de forma exponencial en la generación de residuos y su mal manejo ocupan un lugar prioritario en los puntos a resolver. Definimos residuos como aquellas materias derivadas de actividades de producción y consumo que no tienen valor económico (Navarro et al., 1995).

Los residuos se pueden clasificar de muchas formas distintas, por ejemplo, según su origen. Así, definimos los residuos sólidos urbanos (RSU) como aquellos generados en domicilios particulares, comercios, oficinas o servicios, y todos aquellos que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades antes mencionados (Tognetti, 2007). La incorrecta gestión de estos residuos trae como consecuencia sitios inadecuados de disposición final, como por ejemplo los vertederos a cielo abierto, bajas tasas de reciclaje, y las islas de plástico, entre otros (Hernández y Corredor, 2016). En Argentina, en el año 2020, se produjeron en promedio por cada habitante 1.15 kg de RSU por día, según cifras del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Cóppola y Schamber, 2020). Gran parte de estos residuos podrían ser aprovechados (recuperación de metales, plásticos, vidrios, y papel y cartón) o transformados en nuevos recursos.

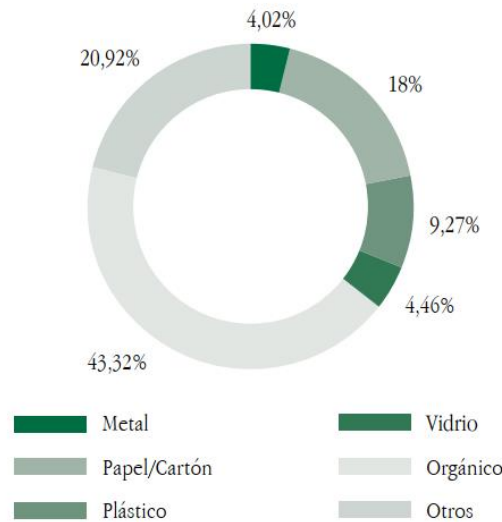


Figura 1: Promedio de la composición de los residuos sólidos urbanos a nivel mundial (Hernández y Corredor, 2016).

La porción más representativa de los RSU, es la fracción orgánica, aproximadamente 43% de los RSU totales generados a nivel mundial (Figura 1, Hernández y Corredor, 2016). Esta fracción orgánica, o FORSU, forma parte junto con los lodos cloacales o biosólidos (subproducto del tratamiento de las aguas residuales) de los denominados residuos orgánicos urbanos, que constituyen uno de los más grandes problemas de la gestión de residuos en la actualidad (Trasviña et al, 2021).

La ciudad de San Carlos de Bariloche se encuentra transitando un fuerte proceso de crecimiento en los últimos 15-20 años, esto se observa no solo en lo que respecta al aumento poblacional, sino también en la extensión de la urbanización, la demanda de bienes y servicios, etc. Los índices de crecimiento superan las medias nacionales y se encuentran entre los primeros puestos entre otras localidades patagónicas (Barrios García Moar, 2019). Teniendo en cuenta esto, es importante que la infraestructura y la planificación en el tratamiento de residuos sean acordes a las demandas. En cuanto a los lodos cloacales, Bariloche cuenta con una sola planta de tratamiento ubicada al este de la ciudad, que trata los líquidos que provienen principalmente del casco urbano. La planta Depuradora de Líquidos Cloacales opera desde 1996 a cargo de la Cooperativa de Electricidad Bariloche (CEB) por concesión provincial, y utiliza el sistema extendido de lodos activados. En la Planta se retienen los sólidos (inertes) y

arenas en primera instancia. Mediante la utilización de procesos biológicos (bacterias aeróbicas) degradan la materia. Estos líquidos convergen en dos sedimentadores donde se separa la fracción líquida en la superficie y los barros en el fondo. Por último, se dan los procesos de remoción biológica de nutrientes en donde ocurre la desnitrificación, proceso importante para evitar eutrofización de los sistemas naturales. Finalmente, los líquidos son vertidos en el lago Nahuel Huapi, quedando como subproducto los lodos cloacales (Funes y Ceriale, 2021; Biagini, 2020).

Las exigencias en la depuración de aguas cloacales crecen día a día, por lo que resulta importante su correcto tratamiento y el uso beneficioso de los lodos cloacales. En el año 2012 la planta generaba aproximadamente 2500-3500 m³ anuales de lodos cloacales (Mazzarino et al., (b) 2012). Actualmente, la ampliación de la planta finalizada en 2021, ha ampliado la capacidad de tratamiento y producción de lodos, alcanzando aproximadamente 5000-6000 m³ anuales (Satti, 2021).

3.1.2 El tratamiento de residuos orgánicos urbanos

El mal manejo de los residuos orgánicos urbanos provoca la contaminación de los suelos y de los sistemas acuíferos, la atracción de vectores y la consiguiente transmisión de enfermedades, la combustión espontánea de basurales, y la mayor generación de gases de efecto invernadero (Mazzarino et al., (a) 2012). Es por ello que resulta de suma importancia su correcto tratamiento, aprovechamiento, y disposición final, en el caso de que no puedan ser aprovechados. Dentro de las alternativas de uso beneficioso para los residuos orgánicos se encuentran la producción de biogás a través de la digestión anaerobia, la obtención de biodiesel, el vermicompostaje, o el compostaje tradicional (Arrigoni, 2016; Tognetti, 2007). A nivel mundial, el compostaje es la forma de manejo más recomendada para los residuos orgánicos, dado que es una técnica simple y económica (Arrigoni, 2016; Mazzarino et al., (b) 2012; Satti et al., 2012).

En el país son varias las provincias que han incorporado el compostaje con el fin de reducir y valorizar los residuos orgánicos. Por ejemplo, en la Ciudad

Universitaria de Córdoba, se reciclan los residuos orgánicos del mantenimiento de áreas verdes desde el año 2012, y los de comedores desde el año 2015 (Ringuelet et al., 2019). En la ciudad de Mar del Plata, se compostan los barros junto con los industriales generando así 20-25 toneladas diarias de barros primarios que, son transportados a un vivero donde se estiban durante dos años o se compostan en hileras con volteos (Peralta et al., 2012). En Bariloche, los lodos cloacales se compostan desde 1997 utilizando como material estructurante viruta de madera y chip de poda (Mazzarino et al., (b) 2012) en la Planta de Compostaje de Lodos Cloacales de la Ciudad de Bariloche perteneciente a la Cooperativa de Electricidad Bariloche.

3.1.3 Ventajas del compostaje

El compostaje de residuos orgánicos, permite el reciclado, disminuye la disposición de ROU (Residuos Orgánicos Urbanos) en vertederos y genera un recurso de valor agronómico. El producto del proceso de compostaje, compost, aporta al suelo la mayoría de los macro y micronutrientes necesarios para el crecimiento vegetal. Su principal beneficio es el aporte de materia orgánica altamente estabilizada, la cual mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Por otro lado, mejora la aireación, el drenaje, la capacidad de retención de agua, la agregación, la capacidad de almacenar nutrientes de los suelos y la actividad de los organismos del suelo (Tognetti, 2007). Además, permite la lenta liberación de nutrientes debido a que se encuentran en forma orgánica disminuyendo así la pérdida por lixiviación. Es por esto que el compost tiene valor como enmienda, ya que contribuye a recuperar la materia orgánica del suelo; y también valor como fertilizante ya que aporta nutrientes en forma dosificada (Sayara et al, 2020).

3.1.4 Usos del compost

Hace muchos años, el compost se utilizaba principalmente con un fin agronómico, sin embargo, en la actualidad son diversas las nuevas alternativas que hay para su uso. Por ejemplo, el compost es efectivo para el control de ciertos fitopatógenos, y se ha reportado que su uso es tan efectivo incluso como

algunos fungicidas (Rojas et al., 2015; Gea y Navarro, 2009). Por otro lado, se utiliza con éxito para la biorremediación de suelos contaminados, permitiendo la disminución de contaminantes orgánicos (PAH, PCBs, PC DD/F y algunos pesticidas) y la reducción en la biodisponibilidad de metales pesados (Branzini y Zubillaga, (b) 2012; Zubillaga et al., 2012). También se utiliza como biofiltro, coberturas para control de erosión del suelo, tratamiento de aguas pluviales y control de malezas (Branzini y Zubillaga, (a) 2012; Laos et al., (b) 2012; Zubillaga, 2012.). Por último, algunos estudios muestran la utilidad del compost, en particular del de lodos cloacales, en restauración de diferentes ecosistemas alterados por disturbios antrópicos (Kowaljow y Mazzarino, 2012). Tal es el caso de los bosques nativos quemados, donde el suelo desnudo y sin estructura vuelve muy difícil o lenta su propia recuperación (Varela et al., 2006). Otro ejemplo de restauración son los suelos pampeanos donde la producción ganadera intensiva provoca contaminación de suelo y agua (Zubillaga, 2012). Debe destacar que, en todos los casos, se ha observado que el compost de lodos cloacales, además de estructura y características físicas favorables, aporta gran cantidad de nutrientes al suelo siendo bueno incluso como sustrato para la producción de plantines. Hay que tener en cuenta que su alto contenido de nutrientes puede producir toxicidad, por lo que resulta importante utilizarlo en porcentajes menores a 50% (Valdecantos et al., 2017; Barbaro y Karlanian, 2012; Varela et al., 2011; Basil et al., 2009; Varela et al., 2006).

A pesar de estos beneficios estudiados en numerosos trabajos, en nuestro país el compost de lodos cloacales tiene limitados sus usos debido a la reglamentación vigente (Resolución 410/2018). Entre los posibles usos de este compost se encuentran: forestación, floricultura, recuperación de sitios degradados, restauración de paisajes, elaboración de abonos o enmiendas, rellenos sanitarios, paisajismo y tratamiento biológico del suelo, mientras que actualmente no está permitido su uso en agricultura.

3.2 El proceso de compostaje

El compostaje es un proceso biooxidativo controlado que involucra un sustrato orgánico heterogéneo y que finaliza en un producto maduro, estable e inocuo de

valor agrícola. Si bien la definición de compostaje varía según el autor (Mercadal et al., 2021; Ringuelet et al., 2019; Lavado., 2012; Laos et al., 2000), hay consenso generalizado de restringir el uso del término para la descomposición biológica, controlada y aeróbica de un sustrato orgánico. Al ser un proceso controlado, se lo diferencia del proceso de descomposición responsable de la recirculación de nutrientes en la naturaleza, y se lo entiende como un sistema de tratamiento de sub productos orgánicos. Es decir, es un proceso intencional, dirigido y que no ocurre por sí mismo en la naturaleza (Tognetti, 2007).

El proceso de compostaje involucra varias fases que dependen de las características del sustrato y la composición de la flora microbiana, la cual evoluciona a lo largo del proceso. A lo largo del tiempo se reconocen en el proceso de compostaje cuatro etapas principales (Figura 2):

- Primera etapa, mesófila: se caracteriza por la oxidación de compuestos carbonados, azúcares y proteínas, mediante la acción de microflora mesófila (hongos y bacterias), y por la oxidación de compuestos reducidos de azufre. Debido a la actividad metabólica y la falta de disipación de calor, se incrementa paulatinamente la temperatura desde la temperatura ambiente a 45°C (Figura 2). La duración de esta etapa depende de numerosos factores, entre ellos la temperatura y la humedad del ambiente. En particular, en el caso del compostaje de los lodos cloacales, debido al alto contenido de agua de este material, a pesar del uso de estructurantes la humedad inicial de la pila suele ser elevada y en muchos casos es necesario reducirla por medio de volteos (Laos et al., 2000).
- Etapa termófila: se caracteriza por su elevada temperatura (45-75°C) (Figura 2). La microflora mesófila es sustituida por la termófila, la cual descompone compuestos carbonados fácilmente degradables. Por otro lado, dada las altas temperaturas se eliminan los patógenos mesófilos, hongos, esporas, semillas, larvas de insectos y la mayoría de los compuestos u organismos indeseables. También se reduce la viabilidad de las semillas de malezas. A medida que se van agotando los compuestos fácilmente degradables, aumenta la proporción de CO₂ y se produce un descenso de la temperatura de la pila y una disminución de la flora termófila. Esta etapa, en la que se alcanzan altas temperaturas, es

de vital importancia en el caso del compostaje de lodos cloacales debido a la considerable carga de patógenos del material original.

- Segunda etapa mesófila: comienza con el descenso de la temperatura por debajo de 40°C (Figura 2). En esta etapa, la microflora mesófila recoloniza el material y metaboliza materiales más resistentes a la descomposición, tales como restos de celulosa y lignina. Cuando termina esta etapa el compost se encuentra estable; esto se relaciona con la disminución de carbono fácilmente degradable y la disminución de la actividad microbiana (a mayor estabilidad, menor disponibilidad de C fácilmente degradable y menor actividad microbiana). Como indicadores de estabilidad se utilizan, por ejemplo, el registro de la temperatura durante el proceso, el consumo de O₂, la producción de CO₂ y la concentración de carbono soluble en agua (CSA) (Tognetti, 2007).
- Etapa de maduración: la temperatura desciende hasta ser similar a la temperatura ambiente. El inicio de la etapa de maduración no está bien definido como se muestra en la Figura 2 y su duración es muy variable. Comienzan a producirse reacciones secundarias de condensación y polimerización que llevan a la formación de compuestos del tipo de las sustancias húmicas, y se degradan compuestos fitotóxicos. Al final de esta etapa, el material se encuentra estable biológicamente y maduro (libre de sustancias fitotóxicas que pueden afectar el crecimiento vegetal), y se da por culminado el proceso. Los indicadores de madurez más utilizados son concentración de amonio, relación amonio/nitratos, índice de germinación y test rápidos de crecimiento vegetal.

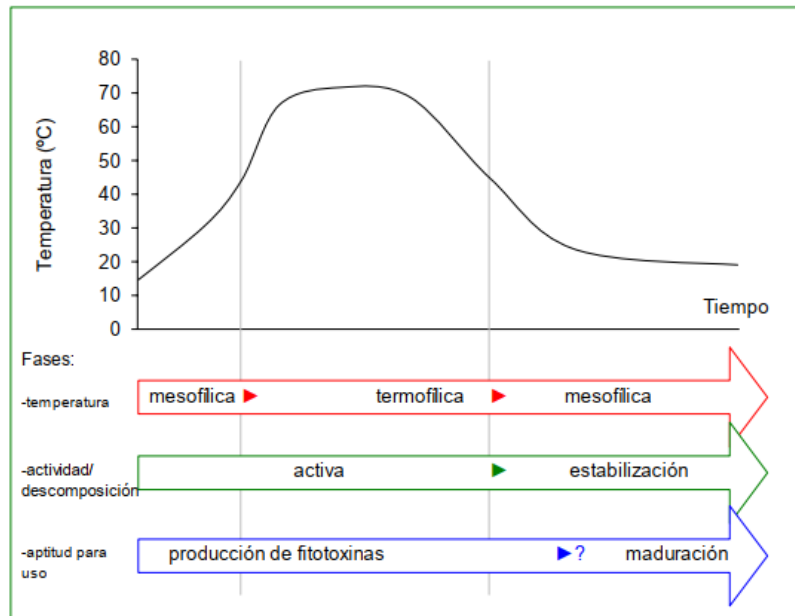


Figura 2: Fases del compostaje considerando la evolución de temperatura (rojo), la actividad microbiana y tasa de descomposición de la materia orgánica (verde) y la aptitud para su uso (azul) Fuente: Tognetti, 2007.

Las dos primeras etapas del compostaje deberían llevarse a cabo sobre plateas que permitan la recolección del material que lixivía de las pilas, ya que hasta que no se completa la reducción de patógenos el líquido que se elimina es potencialmente contaminante. La tercera y cuarta etapa, en cambio, pueden realizarse en sectores menos controlados, ya que los materiales se encuentran higienizados y, si bien lixivian nutrientes que en caso de llegar a cuerpos de agua pequeños podrían causar eutrofización, no representan riesgo para la salud humana o animal.

3.3 Control del proceso de compostaje

Para asegurar que la inocuidad de un compost es necesario controlar su estabilidad, madurez, y contenido de patógenos, elementos traza, inertes y semillas viables (Laos et al., (a) 2012). En el caso del compostaje de lodos cloacales, se utiliza la “Norma técnica de manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales” (Resolución 410/2018), en la que se establecen

ciertas medidas y restricciones que se deben cumplir para el uso del producto final.

La norma establece que se debe llevar un registro de las temperaturas alcanzadas por las pilas de compostaje. Para clasificar a los compost como Clase A, se deben alcanzar temperaturas ≥ 55 °C durante 15 días con al menos 5 volteos, o temperaturas ≥ 55 °C durante 3 días consecutivos o más. Cuando las temperaturas alcanzadas son menores a 55 °C, pero mayores a 40 °C durante 5 días, el producto es considerado Clase B, y cuando no se alcanza ninguna de estas condiciones el material podrá ser tratado nuevamente hasta alcanzar los parámetros requeridos para su uso, o bien disponerse o eliminarse conforme indica la norma. Además de la temperatura, se exige la determinación de patógenos (coliformes fecales y Salmonella), (Resolución 410/2018).

Por otro lado, antes de iniciar el tratamiento de los lodos cloacales, se deben determinar los niveles de los elementos potencialmente tóxicos (EPT), que refiere a los elementos, esenciales o no esenciales, que pueden generar síntomas de toxicidad e inhibición del crecimiento en las plantas a bajas concentraciones. Los EPT en los lodos cloacales se comparan con los valores límites establecidos por el Ministerio de ambiente y desarrollo sustentable de la República Argentina. Entre los EPT reglamentados se encuentran: Zinc (Zn), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y Arsénico (Ar). En la Resolución se establecen además los valores de carga máxima en los suelos donde se apliquen estos compost (Resolución 410/2018).

3.3.1 Semillas Viables en el Compost

En nuestro país, la cantidad de semillas viables presentes en el compost para comercialización no está regulada, pero algunos países ya han establecido reglamentaciones al respecto. La cantidad de semillas aceptada varía entre los distintos países: ninguna en Australia, 5 semillas por litro en Inglaterra, 1 semilla cada 2 litros en Alemania, 2 semillas por litro en Holanda y Chile y < 5 semillas por litro en EEUU (Kowaljow y Varela, 2012). Dado que uno de los usos del compost de lodos cloacales es la restauración de ecosistemas, la presencia de semillas de especie exóticas en el compost puede ocasionar daños ambientales

y económicos al dispersar especies potencialmente invasoras. A escala global las invasiones biológicas son consideradas no sólo una de las más significativas y extendidas amenazas para la conservación de la biodiversidad, sino también la segunda causa más importante de extinción de especies nativas (Fernández et al., 2007). Se considera maleza invasora a aquellas plantas introducidas que generalmente producen alteraciones significativas en los ecosistemas, afectando de manera perjudicial la supervivencia de especies nativas y la integridad o sustentabilidad de las comunidades naturales de los mismos (Fernández et al., 2007). Sin embargo, algunos investigadores y emprendedores privados señalan que, la aplicación de compost conteniendo semillas de especies de rápida germinación y crecimiento podría llegar a dar ventaja respecto a la aplicación de compost exentos de semillas en sitios muy degradados que necesitan recuperar rápidamente su cobertura vegetal (Kowaljow y Varela, 2012).

3.4 Contaminación del compost con semillas y sus características fisiológicas

Durante el proceso de compostaje el aumento de temperatura ocasiona la pérdida de viabilidad de semillas presentes en el material original. Sin embargo, pese a que algunos autores observan reducción total de la viabilidad de las semillas al finalizar la cuarta semana de la etapa termofílica (Grundy et al., 1998; Tompkins et al., 1998), otros estudios indican que el compostaje sólo reduce parcialmente el número de semillas viables y que es especie dependiente (Larney y Blackshaw, 2003; Eghball y Lesoing, 2000). Se cree que su resistencia puede estar relacionada a la presencia de puntos fríos y a la variabilidad en la humedad de la pila de compostaje. También hay que tener en cuenta las diferencias entre las semillas de diferentes especies, dado que algunas tienen más capacidad de resistir que otras. Por ejemplo, *Abutilon theophrasti* mantuvo su viabilidad después del primer volteo y en algunos casos después del segundo, durante el compostaje de estiércol de vacas (Eghball y Lesoing, 2000). Otro estudio muestra como la especie *Solanum. nigrum* mantiene una viabilidad del 30% a 35°C y a 45°C (Grundy et al., 1998). Por otro lado, más allá de las características de las semillas, que son importantes, si la etapa de maduración

se realiza al aire libre, podría existir contaminación con semillas de la zona, que al no estar expuestas a la etapa termofílica no perderían viabilidad.

3.4.1 Características de las semillas

Las semillas se caracterizan por contar con tres estructuras: embrión, reserva de energía (glúcidos, proteínas, lípidos) y cubierta seminal (que deriva de los tegumentos del óvulo). Estas tres características varían en las diferentes especies otorgándole diferentes particularidades a la hora de germinar (Courtis A.C, 2013).

La germinación comienza cuando la semilla seca se hidrata y por ende reanuda su crecimiento, y termina cuando una parte de ésta (eje embrionario en dicotiledóneas o radícula en monocotiledóneas y gimnospermas) atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (emergencia) (Matilla J.A, 2007). Existen dos factores que afectan la germinación: factores externos y factores internos. Entre los factores externos se encuentran: la disponibilidad de agua en el suelo (relación entre (Ψ_a) suelo y (Ψ_a) semilla), composición de gases (relación O_2 y CO_2), temperatura y luz entre otros (Courtis A.C, 2013). Entre los internos que regulan la germinación son importantes el estado fisiológico del embrión (embriones inmaduros), la viabilidad de las semillas (la cual se modifica con el tiempo) y la presencia de mecanismos de latencia de distintos tipos. La latencia, está definida como la incapacidad de una semilla intacta y viable, de germinar bajo condiciones de temperatura, humedad y concentración de gases que serían adecuadas para la germinación (Varela y Arana, 2011).

Para que se produzca la germinación de una semilla, deben cumplirse tres condiciones, el embrión tiene que ser viable, los factores externos ser favorables y no deben presentarse factores internos que impidan la germinación. La germinación comprende cuatro etapas principales, imbibición de agua, síntesis y activación de los sistemas enzimáticos, degradación de las sustancias de reserva, y elongación de las células del embrión y emergencia de la radícula (Courtis A.C, 2013).

El proceso de germinación comienza con la entrada de agua del exterior a la semilla. El ingreso de agua en una semilla cuenta con tres fases o etapas: la fase

rápida inicial, la fase II meseta y la fase III rápida, donde se da la elongación del embrión o de la radícula (Figura 3).

Fase (I)

- Imbibición de agua: período durante el cual la semilla absorbe agua y se hincha. El agua penetra en su interior y al llegar al embrión, se activa y comienzan los procesos que terminarán en el desarrollo de la planta. Esta etapa se encuentra afectada por diversos factores como son: permeabilidad de la cubierta seminal, temperatura ambiental, área de la semilla en contacto con agua, la respiración de la semilla durante la Germinación, composición química de la semilla, madurez y edad.

Fase (II)

- Síntesis y activación de los sistemas enzimáticos:
Periodo en el cual se da la reactivación de las enzimas, que permanecían inactivadas por la extrema desecación y se produce la síntesis de otras inexistentes.
- Degradación de las sustancias de reserva:
Se degradan las reservas de la semilla y se ponen a disposición del embrión, además se utiliza también la energía generada por los procesos de fermentación y respiración.

Fase (III)

- Elongación de las células del embrión y emergencia de la radícula:
En esta última fase de la germinación, paralelamente al incremento de la actividad metabólica e ingreso de agua, se produce el crecimiento y emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales (Curtis A.C, 2013).



Figura 3: Curva de absorción de agua en semillas. Las líneas verticales representan la duración aproximada de cada fase de hidratación (Courtis A.C, 2013).

3.4.2 Presencia de semillas en la planta de compostaje de San Carlos de Bariloche

Se ha reportado que los compost de lodos cloacales de la ciudad de Bariloche, presentan semillas viables de especies nativas, tales como *Plagiobothry verrucosus* y *Stipa sp* (Kowaljow y Varela, 2012). Por otro lado, también se encontraron especies exóticas en el producto final, que podrían implicar un riesgo al favorecer su posible dispersión teniendo en cuenta que algunas de ellas, por ejemplo, *Chenopodium álbum* y *Verbascum thapsus* son especies invasoras (Kowaljow y Varela, 2012). Si bien se han encontrado semillas en los compost maduros, no se sabe cómo ingresan al producto final del compost ni en qué parte del proceso. Identificar esto permitiría ajustar o modificar las prácticas de manejo durante el proceso de compostaje para evitar así la presencia de semillas en el producto final.

3.5 Objetivos

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del proceso de compostaje de lodos cloacales sobre las semillas de cinco especies exóticas presentes en la

región. También se estudió el posible ingreso de semillas del ambiente circundante (contaminación) a las pilas de compostaje tanto en la etapa de maduración como en la etapa final de tamizado.

3.5.1 Objetivos específicos

3.5.1.1 Evaluar la efectividad del proceso de compostaje en uno de los dos sistemas aceptados por la normativa Argentina para el compostaje de lodos cloacales para inactivar las semillas de las especies exóticas.

3.5.1.2 Identificar un posible efecto de contaminación de semillas del ambiente circundante en la etapa de maduración o en las etapas finales del procesamiento del compost (traslado, tamizado y almacenamiento final).

4 Materiales y Métodos

4.1 Sitio de estudio: Planta de compostaje de lodos cloacales.

En la ciudad de Bariloche funciona desde el año 1997 la planta de compostaje de lodos cloacales producidos en la planta depuradora de aguas residuales de la ciudad. Los lodos cloacales que llegan a la planta de compostaje están compuestos solo por un 12-15 % de sólidos ya que son mayoritariamente agua. La Planta de Compostaje de Bariloche, primera del país en cumplir con normas internacionales para compost de lodos cloacales; permite, no solo tratar un residuo de gran volumen y con alta cantidad de patógenos, sino también la valorización de este sub-producto. Las principales limitaciones en cuanto a su funcionamiento son el costo de transporte de los lodos cloacales (se encuentra a 12 km de la planta de tratamiento de líquidos cloacales), la disponibilidad de agentes estructurantes en invierno y los robos (Mazzarino et al., (b) 2012).

La planta recibe aproximadamente 5000-6000 m³ de lodos cloacales al año, con los cuales se arman hileras o pilas (10-15 m largo, 3-4 m ancho y 1.6 m altura) mezclando los lodos con viruta y chip de poda (poda picada en chipeadora a tamaño de aproximadamente 5-10 cm). En particular, para este estudio se armaron pilas de compostaje con la siguiente proporción (V/V): 1 de lodos cloacales, 1 de chip de poda y 0.6 de viruta. Se utilizó el sistema de pilas con

volteos, que implica que las pilas deben mantener temperaturas superiores a 55 °C durante 15 días, con al menos 5 volteos durante ese período. Para ello, las temperaturas de cada pila fueron medidas dos veces por semana en 6 puntos alrededor de cada pila y a dos niveles de profundidad en cada punto (20 y 60 cm), con termómetros con lanzas de 100 cm de largo. Las pilas debían mantener o superar durante al menos 3 días una temperatura promedio de 55°C, para que se realizaran los volteos correspondientes a la etapa termofílica. Previamente a que las pilas llegaran a temperatura termofílica, se debieron realizar entre 2 y 4 volteos para reducir la humedad; estos volteos se denominan volteos por secado. Una vez que las pilas alcanzaron las temperaturas de 55°C, se realizaron 5 volteos por temperatura, que tienen el objetivo de mezclar (eliminando los puntos fríos) y oxigenar permitiendo que todo el material alcance la temperatura termofílica (Mazzarino et al., (a) 2012).

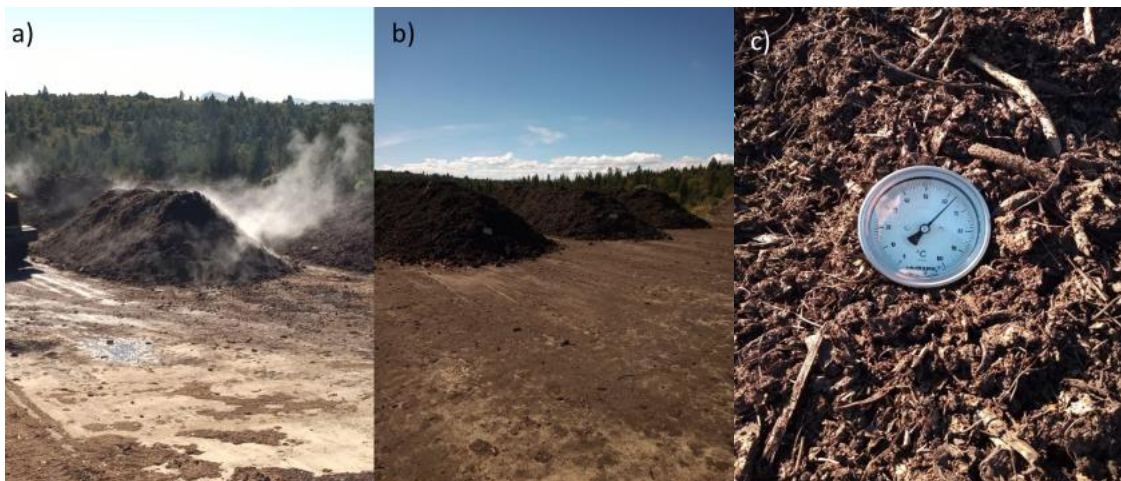


Figura 4: Imágenes de las pilas en etapa termofílica en la planta de tratamiento de San Carlos de Bariloche. a) volteo, b) pilas en etapa termofílica, c) termómetro midiendo en profundidad en una de las tres pilas del ensayo.

Una vez que las pilas terminan la etapa de higienización del material, comienza la etapa de maduración donde se arman grandes pilas que permanecen estáticas por aproximadamente dos años. Finalmente, se retira la capa superior para eliminar las plantas y semillas presentes para luego ser trasladadas a otro sitio donde se tamiza y el compost queda listo para su uso.

4.2 Diseño Experimental

Los experimentos comenzaron en los primeros días del mes de marzo de 2022, para ello se armaron tres pilas independientes (A, B y C, denominadas 1128, 1129 y 1130 según la numeración utilizada en la Planta de Compostaje) con las proporciones mencionadas anteriormente. En cada pila se colocaron bolsitas hechas con tela Wall blanca y cosidas con hilo sintético en dos de sus lados; el último lado se abrochó luego de colocar las semillas en su interior. En cada bolsa se colocaron aproximadamente 40 semillas, con excepción de una de las especies (*Pinus ponderosa*) ya que, debido a su gran tamaño se colocaron solo 25 semillas por bolsa. La cantidad de semillas fue estimada en función del peso para todas las especies, excepto para la especie de semillas grandes que se contaron. Para ello se pesaron en balanza de precisión 10 semillas de cada especie; luego se utilizó este dato para estimar 40 semillas por especie.

Las bolsitas con semillas, fueron puestas en tres profundidades: superficial (0.5 m respecto a la superficie), medio (1 m respecto a la superficie) y profundo (1.4 m respecto a la superficie). Para introducir las bolsas en las pilas se utilizó una varilla con un gancho en el extremo que permitió ingresar y colocar las bolsas a las distintas profundidades. Cada grupo de bolsas, estaba atada a una varilla de hierro pintada para facilitar su cosecha. Las bolsitas se retiraron de las pilas antes de cada volteo para evitar posibles daños, y luego se volvieron a colocar en lugares similares. A lo largo del proceso de compostaje se realizaron 5 volteos, las bolsitas de semillas se cosecharon luego del tercer y quinto volteo (en adelante volteo 3 y 5) con el fin de evaluar viabilidad y la capacidad germinativa de las semillas en distintos momentos del proceso. Los tratamientos quedaron definidos por la combinación de los factores: Volteos (3 y 5) y Profundidad (0.5, 1 y 1.4 m), estableciéndose 6 tratamientos con tres réplicas cada uno (n=3).

Para el ensayo se utilizaron semillas de 5 plantas exóticas invasoras, algunas de ellas domesticadas. Las especies utilizadas fueron: retama (*Cytisus scoparius*), cardo (*Dipsacus sativus*), una especie pino (*Pinus ponderosa*), pasto ryegrass (*Lolium perenne*) y tomate (*Solanum lycopersicum*). Por cada especie se

realizaron 36 bolsitas de semillas (3 niveles de profundidad x 2 extracciones (volteo 3 y 5) x 2 sectores dentro de la pila x 3 pilas independientes), totalizando 180 bolsitas.

4.2.1 Especies a utilizar en el ensayo y su importancia ecológica.

Dentro de las especies a utilizar en el ensayo, tres de ellas, *Pinus ponderosa*, *Cytisus scoparius* (L.) y *Dipsacus sativus* son especies consideradas exóticas invasoras. Estas especies se encuentran presentes en las zonas aledañas a la planta de tratamiento y/o podrían estar presentes en el chip de poda, debido a que los mismo provienen de podas realizadas en la Ciudad de San Carlos de Bariloche. Debido al gran daño que producen como especies exóticas invasoras y a sus probabilidades de ingresar al proceso de compostaje, resulta de suma importancia no contribuir con su dispersión por medio de sus semillas. Algunas especies del genero *Pinus*, como *P. ponderosa*, se caracterizan por la particularidad de que sus semillas tienen alta tolerancia al fuego (Fernández et al., 2007), en particular algunos trabajos realizados sobre este género mostraron que las semillas pueden conservar su viabilidad hasta cerca de 100 C° (Carranza et al., 2015). Por último, *Lolium perenne* y *Solanum lycopersicum* son especies exóticas de buena utilidad para bioensayos, debido a que son fáciles de usar, y de crecimiento y germinación relativamente rápida (Madaschi, 2018).

4.3 Medición del porcentaje de germinación y viabilidad.

4.3.1 Porcentaje de germinación

Las semillas fueron retiradas de las bolsas y puestas en cajas de Petri con papel de filtro humedecido con agua destilada (Kowaljow y Varela, 2012). Luego se incubaron en una cámara que mantiene la temperatura a 25°C las 24 h del día y se encuentra en oscuridad. Las cajas de Petri se sellaron con film para evitar la desecación de las muestras. Las muestras se incubaron por 7 días y una vez finalizado este período se realizó el conteo de las semillas germinadas sobre cajas de petri. Si bien la cantidad de días de incubación es variable para cada especie, y puede llegar hasta 28 días, para este estudio se incubaron 7 días y se realizó el test de viabilidad (ver 4.3.2) a las que no germinaron (ISTA, 2016).

Además, se realizó un control por especie para cada grupo de muestras que ingreso a la cámara de incubación. Para los controles se incubaron semillas de los lotes utilizados para el ensayo en las pilas de compostaje.

El porcentaje de germinación (PG) se calculó como:

$$PG = \frac{n^{\circ} \text{ de semillas germinadas}}{n^{\circ} \text{ de semillas viables}} \times 100$$

4.3.2 Prueba de tetrazolio para viabilidad

A las semillas que no germinaron se les aplicó el test de viabilidad de tetrazolio (cloruro de 2, 3, 5, -trifenil-tetrazolio, en adelante TZ) (Grabe, 1970). Este test está basado en la actividad de enzimas llamadas deshidrogenasas, las cuáles participan en las reacciones de respiración que se producen en la mitocondria de las células vivas. Estas enzimas se encuentran en los tejidos vivos de las semillas que, al ser hidratadas, incrementan actividad de las deshidrogenasas, resultando en la liberación de protones. De esta manera se reduce la solución pasando de incolora (2, 3, 5-trifenil cloruro de tetrazolio) a un color rojo/rosa llamado formazan (Gallo et al., 2016; Ruiz M, 2009). Este test se utiliza cuando no se conocen las condiciones óptimas de germinación, debido a que no todas las semillas germinan con las mismas condiciones de humedad, temperatura, etc. También es de utilidad en semillas que presentan dormancia o no se conoce su tiempo de germinación.

El test consiste en colocar las semillas en cajas de Petri sobre papel filtro durante al menos 24 h para hidratarlas. Luego se agregó una solución al 1% de TZ y se incuban a 20°C por 24 h (Ruiz M, 2009). Si bien el test de tetrazolio es muy específico para cada especie, tanto en el preparado de la solución como en su interpretación, en este trabajo se utilizó la concentración más comúnmente utilizada (ISTA, 2016).

En este trabajo, las semillas fueron incubadas previamente por 7 días en cámara para determinar el porcentaje de germinación, por lo que directamente se las retiró de las cajas de Petri y se las introdujo en tubos eppendorf con la solución de TZ. Antes de colocar las semillas dentro de los tubos eppendorf, con un bisturí

y con ayuda de la lupa, se removió el tegumento de cada semilla para facilitar el contacto del TZ con el embrión.

Por último, las semillas tratadas con TZ se observaron bajo lupa, y se cuantificó y analizó la tinción de las mismas. Si bien el procedimiento de tinción TZ es relativamente sencillo de realizar, las semillas teñidas requieren de experiencia para una adecuada interpretación. Los analistas de semillas consideran varios factores cuando se evalúa la prueba TZ (Vankus, 1997):

1. Intensidad de la tinción
2. Turgencia de los tejidos
3. Presencia y condición de los componentes
4. Cantidad de área que es teñida
5. Patrón de tinción

En función de los tres factores medidos (Intensidad de la tinción, turgencia de los tejidos y, presencia y condición de los componentes), las semillas se clasificaron en viables o inviables. Para eso, se tomó a cada factor como excluyente, es decir que es necesario que todos los criterios sean positivos para clasificar a la semilla como viable (Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros de la intensidad de tinción y de la turgencia y estructura interna de las semillas, en relación con la viabilidad de cada semilla

Parámetros	Tinción (-)	Tinción (+)
Turgencia y estructura Int. (+)	Inviable	viable
Turgencia y estructura Int. (-)	Inviable	Inviable

En el caso de la intensidad de tinción, para que se considere que una semilla cumple este criterio, la intensidad de tinción tiene que ser similar o igual al control de cada especie en las condiciones del ensayo (Moore, 1996). Los embriones que presentaron un color rojo intenso y similar al control se consideraron viables y se excluyó a los que tenían un color ligeramente pálido o no tenían color, que se consideraron no viables o muertos (Álvarez et al., 2020). Para eso, la

intensidad de tinción tuvo que superar un valor de 6 en una escala del 1 a 10, siendo 10 la intensidad máxima de las semillas control de cada especie en las condiciones del ensayo (Moore, 1996). También, se tuvo en cuenta que puede haber diferentes coloraciones asociadas a otras situaciones, por ejemplo: la tinción de color rojo oscuro o pálido, se asocia con tejidos flácidos, y la tinción de color rojo púrpura se asocia con tejidos con líquidos acumulados que representan tejidos debilitados (Figura 5).

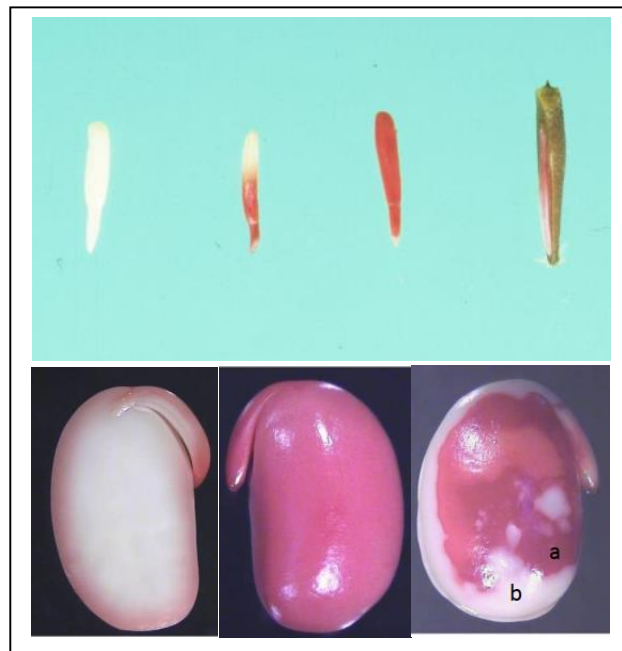


Figura 5: Imagen superior, de derecha a izquierda, buena semilla, embrión saludable, embrión dañado y embrión muerto (*A=Abies procera*) (Landis et al., 1998). Imagen inferior, de izquierda a derecha, Vista interna de semilla vigorosa de color blanco brillante rodeado de un área rosa, vista externa de semilla vigorosa de color rosa y vista externa de semilla con tejido deteriorado color rojo (a) y tejido muerto de color blanco mate (b). Fuente: Gallo et al., 2016.

En cuanto a los otros 2 factores considerados en este estudio, turgencia de los tejidos, y presencia y condición de los componentes, se consideró a las semillas con tejidos muy deteriorados, sin turgencia o incluso en donde se perdió la estructura del embrión, como inviables.

Finalmente se calculó el % de viabilidad como:

$$\%viabilidad = \frac{n^{\circ} \text{ de semillas viables}}{n^{\circ} \text{ de semillas totales}} \times 100$$

n° de semillas viables= tinción (+), turgencia y estructura (+).

n° de semillas totales= número de semillas expuestas al TZ.

4. 4 Presencia de banco de semillas.

4.4.1 Compost en maduración

Para evaluar posibles efectos de contaminación durante la etapa de maduración, se tomaron muestras de pilas de compost con distintos tiempos de maduración y se estimó el banco de semillas de dichos compost. Se muestrearon pilas estibadas en las instalaciones de la planta de compostaje desde el año 2021, 2020 y 2018 (no tamizadas). Es de destacar que la pila 2018, había finalizado su etapa de maduración y estaba siendo trasladada al lugar de tamizado para poder ser utilizada.

Para el ensayo se tomaron tres muestras aleatorias de cada pila, para ello se recorrió las pilas buscando puntos alejados y a diferentes profundidades dentro de las mismas. Cada muestra fue tamizada para eliminar las partículas de gran tamaño, y se calculó el porcentaje de humedad y la densidad aparente.

Para evaluar la germinación del banco de semillas se armaron bandejas (bandejas plásticas de 10 x 15 cm) con 100 g (peso seco) de compost y se completó con agua en los casos que fuera necesario para alcanzar una humedad estimada del 55% (Kowaljow y Varela, 2012). En total se armaron 27 bandejas (3 pilas x 3 muestras x 3 bandejas) y además se armó una bandeja por cada pila con agregado de semillas a modo de control positivo. Para este control se utilizaron las tres especies de semillas que germinaron en el estudio de germinación realizado previamente. Las bandejas se incubaron en condiciones semicontroladas: período de luz 16 horas diarias, temperatura de 10°C por la noche a 20°C durante el día, y re humedecimiento según fuera necesario. Las bandejas se dejaron tres semanas en incubación, período durante el cual cuantificó la cantidad de plántulas emergidas. Los datos se expresaron como el número de semillas viables por litro de compost.

Para calcular el porcentaje de humedad de cada pila de compost, se tomó una muestra que se pesó en húmedo y luego fue llevada a estufa a (70 °C) por 48 h. El porcentaje se calculó como:

$$\%H = \frac{\text{Peso compost humedo (g)} - \text{Peso compost seco (g)}}{\text{Peso compost humedo (g)}} \times 100$$

Por último, se calculó la densidad aparente para cada pila, para ello se tomó una muestra de 100 cm³ de compost seco y tamizado, y se registró su peso (Rojas, 2013).

$$Dap = \frac{\text{Peso compost seco (g)}}{\text{Volumen (cm3)}}$$

4.4.2 Compost maduro tamizado

Para evaluar posibles efectos de contaminación durante la etapa final de tamizado, se tomaron muestras del compost maduro tamizado y se estimó el banco de semillas presente. El compost se carga con pala mecánica al camión que lo traslada al sitio de tamizado, allí se tamiza por una malla de 5 mm reduciendo su volumen a la mitad.

Para el ensayo se armaron 12 bandejas con compost maduro tamizado, a dos de ellas se les agregó semillas de las especies utilizadas anteriormente con buen poder germinativo, como control positivo de germinación. Se utilizó la misma metodología anteriormente descrita.

4.5 Análisis estadístico

Para comparar la cantidad de semillas de distintas especies que permanecieron en las bolsas se realizó un ANOVA de un factor junto con el test Tukey de comparaciones múltiples. Se realizaron ANOVAS para comparar el porcentaje de germinación, la intensidad de tinción y el porcentaje de viabilidad entre tratamientos. Además, se hicieron ANOVAS de dos factores para corroborar la interacción entre ambos factores (las diferentes profundidades y tiempos de incubación: volteos 3 y 5), para las especies que hayan tenido valores positivos en la variable a medir (% germinación, % viabilidad e intensidad de tinción).

Previamente a la utilización de test paramétricos se corroboró si los datos cumplían con la normalidad y la homogeneidad de varianza, mediante un Shapiro-Wilk normality test y un Breusch-Pagan test. En el caso en que no cumplieran los supuestos, se utilizó un test no paramétrico (Kruskal-Wallis rank sum test).

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa R 3.6.0 con el paquete Rcmdr 2.5-3.

5 Resultados

5. 1 Temperatura de las pilas a lo largo del proceso.

En general, las pilas tardaron 20 días para llegar a la temperatura requerida para la etapa termofílica, y fueron necesarios entre 2 y 4 volteos previos por secado, según la pila considerada. Para todas las pilas se observó una tendencia al aumento de la temperatura media a lo largo del tiempo, esto se evidenció en ambas profundidades de medición. El aumento de la temperatura media en función del tiempo, fue muy similar para todas las pilas a 60 cm de la superficie (Figura 6. a), mientras que presentó mayor variación en los datos tomados a 20 cm de la superficie (Figura 6. b). Se observaron casos particulares como en la pila B, donde se presentó una disminución importante en la pendiente de ascenso de temperatura media entre el segundo y tercer volteo por secado (Figura 6. b). En el caso de los volteos 3 y 5, en donde se cosecharon las semillas, se observó un aumento de temperatura del volteo 3 hacia el 5, exceptuando a la pila A con la temperatura tomada a la menor profundidad.

La temperatura ambiente a lo largo del proceso tuvo una caída de 6-8 C° en promedio en los primeros 10 días, luego se mantuvo constante a lo largo de los días (Anexo 1-Figura 1).

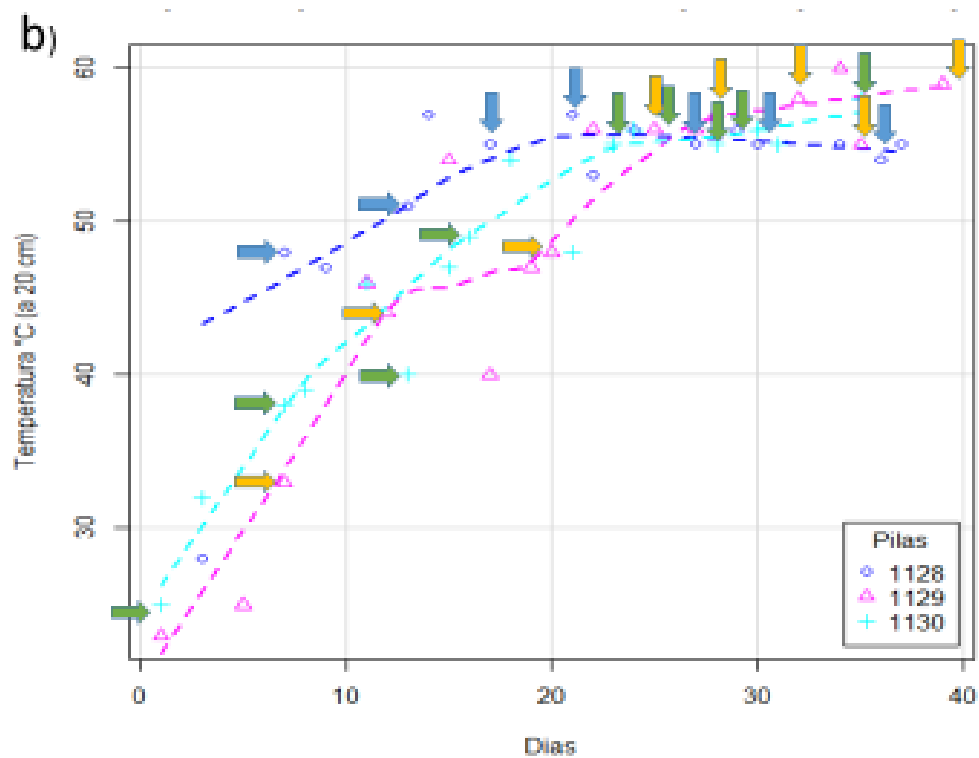
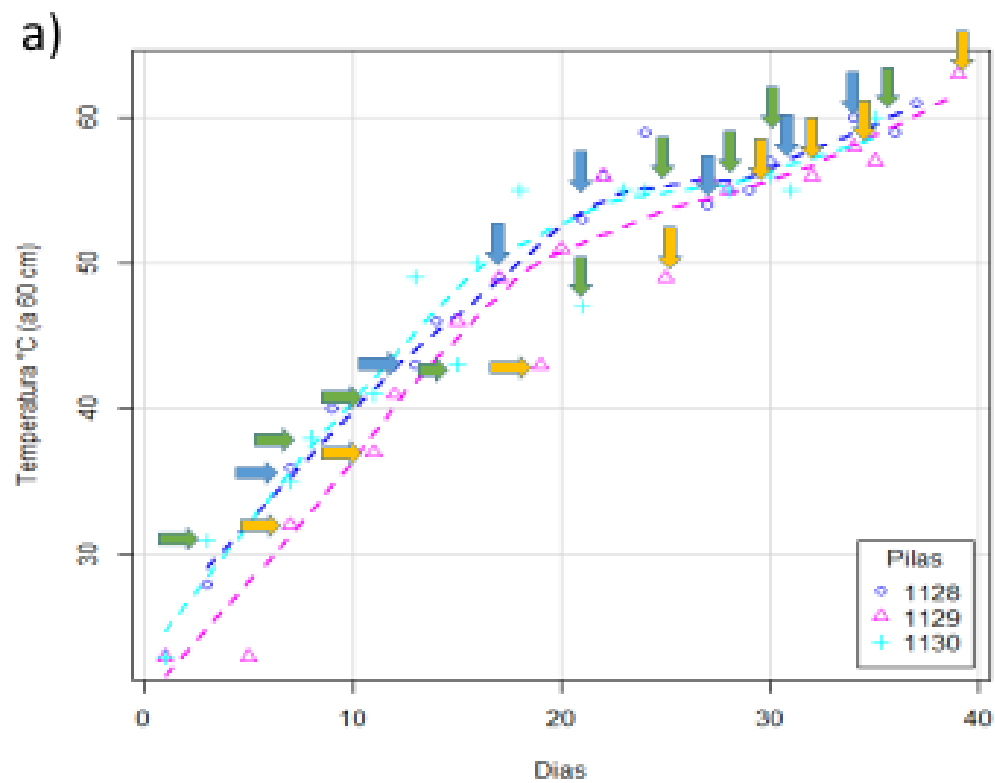


Figura 6:
 Temperatura media de las pilas en función de los días para dos mediciones respecto de la superficie: a) a 60 cm de la superficie y b) a 20 cm de la superficie. Las flechas horizontales indican volteos por secado y las verticales por temperatura. Los colores de las flechas corresponden a: azul (pila A), naranja (pila B) y verde (pila C).

5. 2 Porcentaje final de semillas recuperadas luego de la cosecha, y análisis de turgencia.

El porcentaje de semillas recuperadas de las bolsas a lo largo de todo el ensayo para los volteos 3 y 5, y para las diferentes profundidades, difirió entre especies (ANOVA $p = 0.000029$, Anexo 1-Figura 2, Figura 7). Se encontró que para 3 de las 5 especies utilizadas, el porcentaje de semillas recuperadas fue menor al 60 % del total (Figura 7). Es importante remarcar que todas las bolsas cosechadas se encontraron en óptimas condiciones, descartando así la posibilidad de que las semillas se hayan perdido por rotura de las bolsas.

La especie *C. scoparius* (L.) fue la que tuvo menos semillas por bolsa al momento de la cosecha, quedando solo con un 5 % o menos de la cantidad inicial. En el caso de *L. perenne* y *S. lycopersicum*, la cantidad de semillas se mantuvo cerca de 55% de la cantidad inicial. *D. sativus* tuvo un porcentaje de recuperación post cosecha del 80%. Finalmente, *P. ponderosa* fue la única especie en la que no se vio afectada la cantidad final de semillas recuperadas por bolsa.

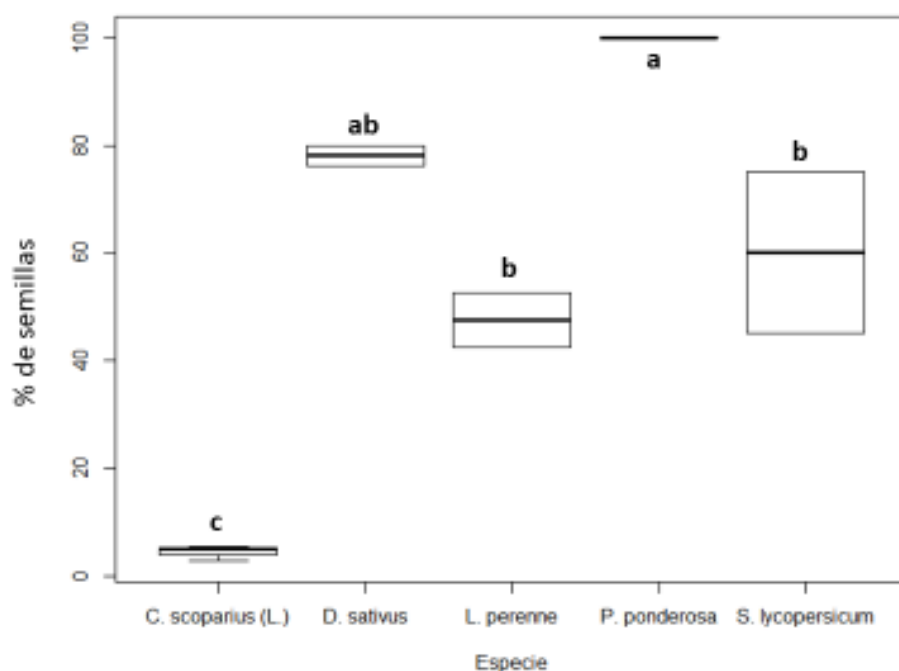


Figura 7: Porcentaje final de semillas recuperadas por bolsa del promedio de los tratamientos para cada especie. Se muestran medias y desvío estándar. Letras distintas indican diferencias significativas.

Al analizar la turgencia de los tejidos, y la presencia y condición de los componentes de la semilla, no se encontraron diferencias entre los distintos tratamientos. Se observó que la mayoría de las semillas presentaba tejidos muy deteriorados al momento de retirar el tegumento. En particular, las especies *L. perenne*, *S. lycopersicum* y *D. sativus*, presentaron menor turgencia de sus tejidos y mayor porcentaje de destrucción, siendo muy difícil identificar el embrión dentro de la semilla. En gran parte de las semillas recuperadas para estas especies, se observó que, al retirar las semillas de las bolsas, solo se encontraba el tegumento con su interior vacío o con el embrión en forma líquida y totalmente desintegrado. La especie *C. scoparius* (L.), fue un caso particular y muy variable en cuanto a la turgencia de sus tejidos. Se encontró, por un lado, que el 95 % sus semillas tuvieron una destrucción tan importante que se desintegraron y perdieron de la bolsa. Por otro lado, el 5% restante presentaba una alta turgencia y estructura, similar a las semillas control. Dentro de este grupo de semillas se encontró que muchas de ellas eran muy pequeñas y con alta dureza. La especie *P. ponderosa*, fue la que menos turgencia y estructura de sus tejidos perdió en promedio. La mayoría de sus tejidos se encontraron con turgencia y estructura media a la hora de ser retiradas de la bolsa. Aproximadamente entre 3 y 4 semillas de cada 5 presentaban una turgencia media o buena. Sin embargo, en muchos casos, al cortar el endosperma el embrión se encontraba desintegrado en su interior.

5. 3 Porcentaje de germinación.

El porcentaje de germinación de las semillas de los controles, mostró que, de las 5 especies utilizadas, solo 3 germinaron en las condiciones de incubación (Tabla 2). Las especies *D. sativus*, *L. perenne* y *S. lycopersicum* germinaron en un porcentaje superior al 75 %, mientras que *P. ponderosa* y *C. scoparius* (L.), no germinaron o su porcentaje de germinación fue menor al 1%.

Tabla 2: Porcentaje de germinación de los tratamientos y controles para cada especie. Se indican medias y desvío estándar entre paréntesis.

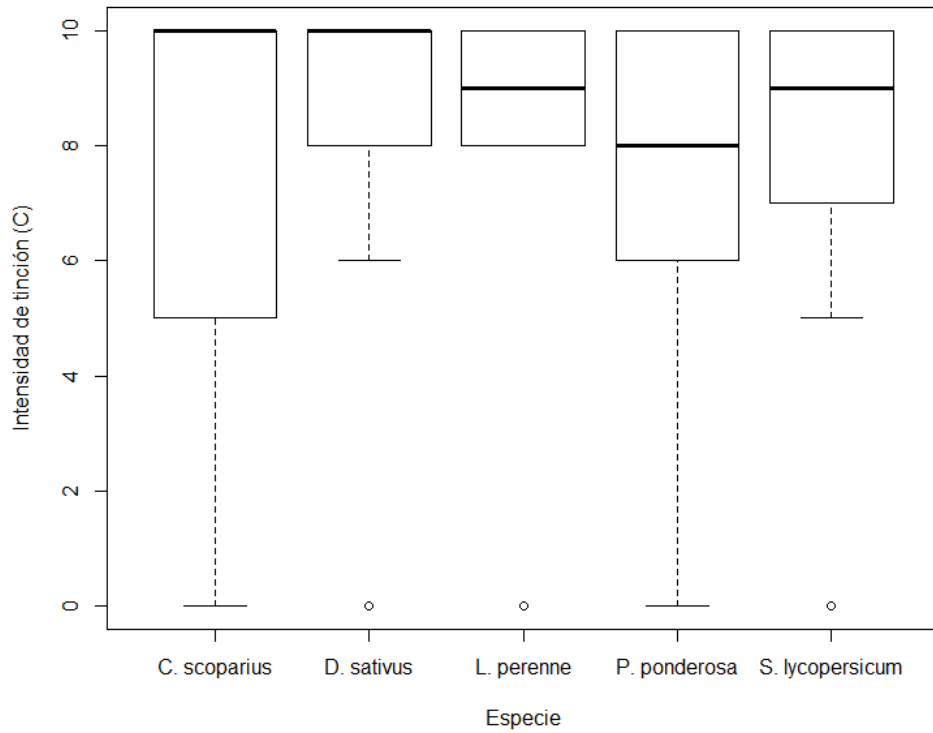
Porcentaje de Germinación		
Especies	Controles	Tratamientos
<i>L. perenne</i>	88,7 (2,98)	0
<i>S. lycopersicum</i>	85,6 (7,42)	0
<i>P. ponderosa</i>	0	0
<i>D. sativus</i>	75,8 (10,00)	0
<i>C. scoparius</i>	0,5 (0,74)	0

En el ensayo de germinación para los 6 tratamientos, se observó que ninguna de las especies germinó. No hubo entonces diferencias entre los volteos 3 y 5 ni entre las distintas profundidades medidas. Se esperaba que ni *P. ponderosa* ni *C. scoparius* (*L.*) germinaran debido a que tampoco lo hicieron sus respectivos controles. En el caso de las tres especies para las que sí germinaron sus controles, se hallaron diferencias significativas en el porcentaje de germinación entre controles y tratamientos (Test Kruskal-Wallis, *S. lycopersicum* $p < 0.001$, *D. sativus* $p < 0.001$ y *L. perenne* $p < 0.001$; Figura 7).

5.4 Intensidad de Tinción.

La intensidad de tinción de los tejidos medida en una escala del 1 al 10, se analizó por separado. Los controles de todas las especies alcanzaron valores de media superiores a 8 de intensidad de tinción (Figura 8, a). Las especies *C. scoparius* y *D. sativus*, con una media muy cercana a 10, fueron las que presentaron los valores más altos dentro de los controles.

a)



b)

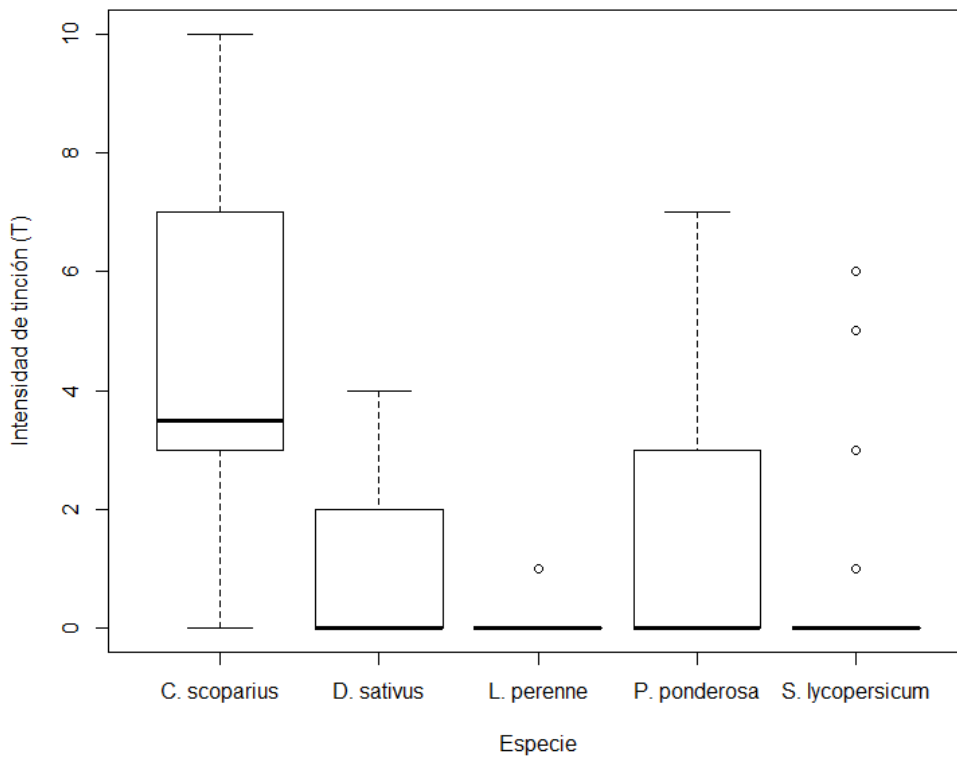


Figura 8: Intensidad de tinción de las semillas teñidas con tetrazolio, a) controles y b) tratamientos. Las líneas en negro dentro de las cajas representan las medias y las líneas de puntos los desvíos estándar. Los círculos representan datos atípicos dentro de cada muestra en todos los gráficos.

Al comparar la intensidad de tinción entre los tratamientos en función de cada especie, se encontró que ningún tratamiento presentó diferencias significativas (Figura 8, b; ANOVA $p = 0.09$). Tampoco se encontró interacción entre los volteos (3 y 5) y las diferentes profundidades para la intensidad de tinción (ANOVA dos factores $p = 0.94$). Al no presentar interacción, se analizó a cada factor por separado (ANOVA $p = 0.83$ y ANOVA $p = 0.59$ respectivamente); ninguno de los factores fue significativo en cuanto a la intensidad de tinción. Por último, la intensidad de tinción se comparó entre controles y tratamientos para cada especie, donde sí se encontraron diferencias significativas para todas las especies menos para *C. scoparius* (Test Kruskal-Wallis, *P. ponderosa* $p < 0.001$, *C. scoparius* $p = 0.11$, *L. perenne* $p < 0.001$, *D. sativus* $p < 0.001$ y *S. lycopersicum* $p < 0.001$).

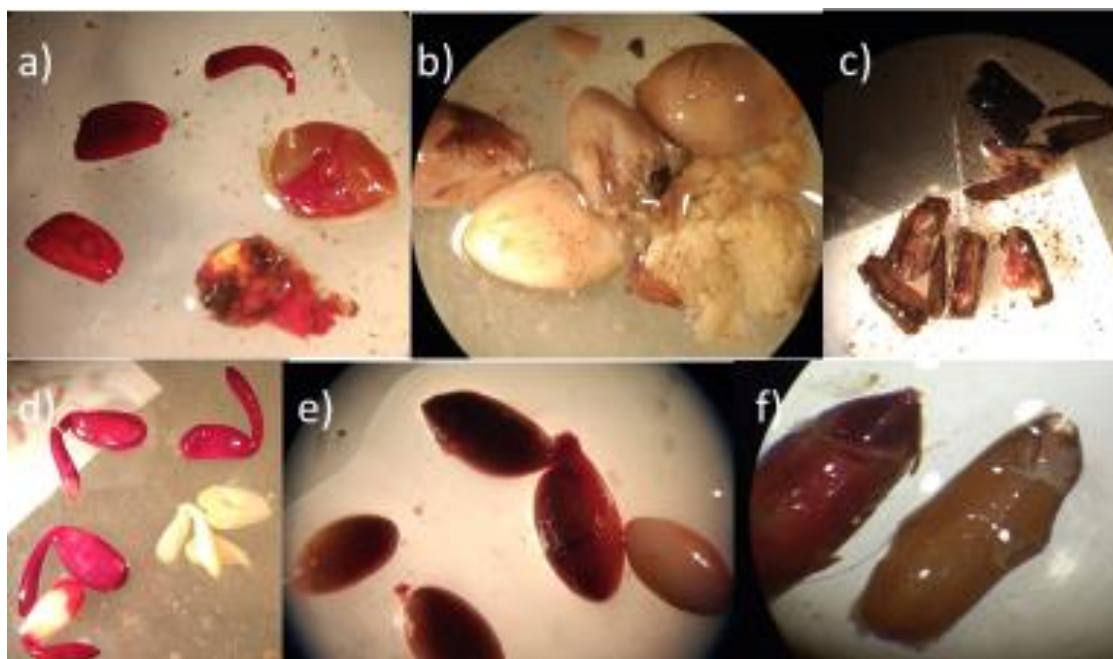


Figura 9: Imágenes de la tinción con tetrazolio de las diferentes especies. Las imágenes representan a los tratamientos en la parte superior: a) *C. scoparius*, b) *P. ponderosa* y c) *D. sativus*, y en la parte inferior a los controles: d) *C. scoparius*, e) *P. ponderosa* y f) *L. perenne*.

Al comparar la intensidad de tinción de los tratamientos podemos ver que, solo *C. scoparius* (Figura 9, a), se tiñó de manera similar a los controles, mientras que

las demás especies (Figura 9, b y c), presentaron una tinción muy leve o no presentaron tinción. Por otro lado, se observó un gran daño en los tejidos dentro de los tratamientos siendo menor en el caso de *C. scoparius*.

Cuando se evaluaron los controles, se observaron diferencias en la intensidad de tinción entre las diferentes especies y dentro de cada una de ellas. En el caso de los controles, *C. scoparius* (Figura 9, d), la intensidad fue bastante importante superando a las demás (Figura 9, e y f), aunque se encontró la presencia de semillas sin teñir o con patrones irregulares de tinción lo cual dificultó su interpretación.

5.5 Porcentaje de Viabilidad

Dado que un alto porcentaje de semillas no germinaron en las condiciones de incubación, se evaluó la viabilidad de las semillas. Esta variable tuvo en cuenta tres factores, la intensidad de tinción, la turgencia de los tejidos y, la presencia y condición de los componentes de la semilla.

Al observar la viabilidad de las semillas de cada especie en función del tratamiento, se vio que solo 2 especies de las 5 utilizadas presentaron viabilidad positiva (Tabla 3 y 4). En el caso de *P. ponderosa*, solo se vio un caso positivo en la combinación de menor tiempo (volteo 3) y más superficial (0.5 m de profundidad), lo que representa un 10% de las semillas, sin embargo, en el último volteo ya la pérdida de viabilidad es total. En cambio, *C. scoparius*, tuvo valores positivos en todos los tratamientos (Tabla 3). Para esta especie se comparó entre los distintos tratamientos (combinaciones de volteos y profundidades) y no se encontraron diferencias significativas (ANOVA, un factor $p = 0.42$). Tampoco se encontró interacción entre ambos factores (ANOVA de dos factores $p = 0.51$), ni diferencias significativas para cada factor por separado (profundidad $p = 0.78$ y volteos $p = 0.06$). Las tres especies restantes (*L. perenne*, *D. sativus* y *S. lycopersicum*), tuvieron cero por ciento de viabilidad para todos los tratamientos, por lo que la comparación entre los tratamientos no aporta un dato relevante. Debido a esto se trabajó con el promedio de los tratamientos por especie y su comparación con el control mostró diferencias significativas para todas las

especies (ANOVAS, un factor $p < 0.01$, Tabla 3), excepto para *C. scoparius* (ANOVA, un factor $p = 0.062$; Tabla 3).

Tabla 3: Porcentaje de viabilidad de cada especie en función los diferentes tratamientos (combinación de volteos y profundidad). Los valores representan las medias, y los valores entre paréntesis los respectivos desvíos estándar.

Especies	Porcentaje de viabilidad											
	volteo 3						volteo 5					
	0.5 m	(n)	1 m	(n)	1.4 m	(n)	0.5 m	(n)	1 m	(n)	1.4 m	(n)
<i>L. perenne</i>	0	30	0	30	0	25	0	30	0	30	0	30
<i>S. lycopersicum</i>	0	30	0	30	0	25	0	30	0	30	0	30
<i>P. ponderosa</i>	10 (10)	30	0	30	0	25	0	30	0	30	0	30
<i>D. sativus</i>	0	30	0	30	0	25	0	30	0	30	0	30
<i>C. scoparius</i>	28.9 (34,2)	10	33,3 (33,3)	8	100	1	50	2	50,0 (70,7)	2	100	2

Es importante destacar que los valores de *C. scoparius* se calcularon sobre la cantidad total de semillas recuperadas que ingresaron al tratamiento de TZ, por lo que, en este caso en particular, las cantidades no superaban en algunas ocasiones más de 2-3 semillas por réplica (Figura 7). Por esta razón, muchos análisis de TZ se realizaron a semillas individuales, obteniéndose así muchas veces un valor del 100% cuando presentaban tinción.

Tabla 4: Porcentaje de viabilidad de controles y el promedio de los 6 tratamientos (combinación de Volteos y Profundidades) para cada especie. Se indican medias y desvío estándar entre paréntesis.

Especies	Porcentaje de Viabilidad	
	Controles	Tratamientos
<i>L. perenne</i>	83,8 (0,62)	0
<i>S. lycopersicum</i>	85,8 (2,13)	0
<i>P. ponderosa</i>	86,9 (17,31)	1,7 (5,14)
<i>D. sativus</i>	73,0 (11,25)	0
<i>C. scoparius</i>	82,8 (18,10)	49,0(42,54)

El porcentaje de viabilidad media de los controles fue superior al 75 % para todas las especies, *S. lycopersicum* presentó los valores más altos mientras que *D. sativus* los más bajos.

Como resultado de las pruebas de germinación y viabilidad de los controles, se encontró que para tres de las cinco especies que sí germinaron, el porcentaje de viabilidad fue similar al de germinación (Tabla 3 y 4). En las dos especies restantes, debido posiblemente a la presencia de latencias, se vio muy afectada su germinación.

5. 6. Germinación del banco de semillas

5. 6. 1. Recuento de plántulas en pilas en maduración

El ensayo de germinación del banco de semillas del compost en maduración, mostró que no hubo germinación en ninguno de los lotes correspondientes a los años 2021, 2020, y 2018 en la planta de compostaje (Figura 10, a). Los controles positivos realizados mostraron muy altos porcentajes de germinación en las condiciones de incubación.

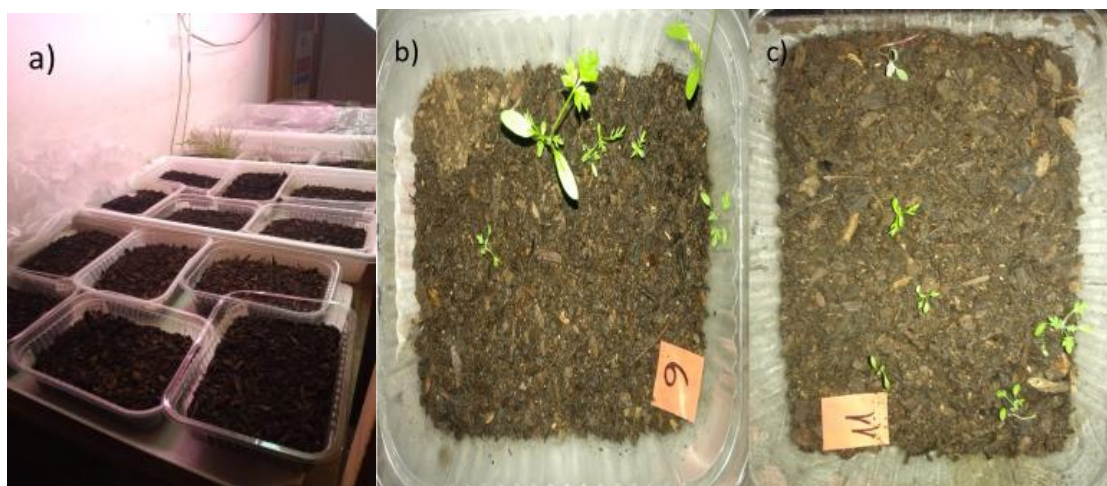


Figura 10: Germinación del banco de semillas en compost. a) compost en maduración y, b) y c) diferentes muestras del compost maduro y tamizado.

5. 6. 2. Recuento de plántulas en compost maduro tamizado

Por último, en la germinación del banco de semillas del compost maduro tamizado se encontró un gran número de semillas germinadas, (Figura 10, b y c), además las diez sub-muestras tuvieron presencia de semillas germinadas.

Dado que el compost maduro y tamizado, tuvo una humedad de 60% y una densidad relativa de 0.49 g.cm^{-3} , se calculó un promedio de 13.5 semillas.L⁻¹ para el compost maduro y tamizado. Los controles positivos mostraron altos porcentajes de germinación para las 2 especies sembradas.

6 Discusión

La etapa termofílica fue efectiva para inactivar las semillas utilizadas. El proceso de compostaje de lodos cloacales tuvo un efecto importante sobre las semillas, reduciendo el porcentaje de germinación a cero y el de viabilidad a valores cercanos a cero o cero a partir del volteo 3 y a todas las profundidades ensayadas, exceptuando a *C. scoparius*. Por otro lado, no se detectaron semillas en el compost maduro acumulado en la planta de compostaje, pero sí en el compost que fue trasladado y tamizado. Se postula que la contaminación se pudo deber al manejo del compost maduro en el momento de trasladarlo, introduciendo así todo el banco de semillas presente en la superficie de las grandes pilas de maduración, al momento de remover con la pala mecánica.

6. 1 Temperatura de las pilas a lo largo del proceso

Las pilas de compostaje tardaron aproximadamente 20 días en llegar a la temperatura termofílica. En general, en época seca de verano, una pila bien construida debería alcanzar 55-60 °C en aproximadamente una semana y mantener esta temperatura durante al menos una o dos semanas (Mazzarino et al., (a) 2012). Esta demora en alcanzar temperaturas de 55°C se pudo deber a que, a pesar que los experimentos se comenzaron en los primeros 10 días del mes de marzo, durante la etapa inicial del proceso de compostaje se registraron bajas temperaturas e importantes precipitaciones, ambos condicionantes de la actividad microbiana (Liang et al., 2003).

Una posible alternativa para evitar que el clima sea un condicionante, sería cubrir las pilas que se encuentran en la etapa termofílica. De esta manera se podría

disminuir la pérdida de temperatura por lluvias y así llegar más rápido a las temperaturas requeridas, evitando que el proceso se ralentice por mal clima.

6. 2 Porcentaje final de semillas recuperadas luego de la cosecha

El porcentaje de semillas recuperadas fue menor al 60% para 3 de las 5 especies utilizadas. Las semillas de *C. scoparius* presentaron el porcentaje más grande de pérdida, llegando al 95%, y también los valores más altos de viabilidad (esto dado por el bajo número de semillas sobre el cual se realizó el test de TZ). Es de resaltar que este porcentaje de pérdida elevado no se debió a que las bolsas se estropearon, sino que los tejidos de las semillas fueron completamente degradados durante el proceso de compostaje.

Esta especie de leguminosa, al igual que algunas otras especies, rara vez pierde su viabilidad mientras la cubierta de sus semillas permanece en condiciones impermeables en el suelo. Sin embargo, una vez que se vuelven permeables, las semillas germinan o se pudren rápidamente (Grundy et al., 1998). Esta característica podría explicar por qué las semillas de *C. scoparius* que permanecieron dentro de las bolsas estaban en condiciones similares a los controles (nunca se permeabilizaron dentro de las pilas), mientras que, las que sí se permeabilizaron, se pudrieron y desintegraron (Grundy et al., 1998).

Las especies *L. perenne*, *S. lycopersicum* y *D. sativus* presentaron entre 30 y un 50 % de semillas perdidas respecto de la cantidad inicial; además, de las semillas que permanecieron en las bolsas, gran parte de ellas se encontraban con un alto grado de destrucción. Este grupo de especies, fueron las que presentaron el tegumento más blando y sus controles germinaron rápido y en altos porcentajes. Las semillas duras tienen una cubierta impermeable que impide la absorción de agua, mientras que las semillas blandas absorben agua y germinan fácilmente (Horwitz y Taylorson, 1983). Es por ello que las semillas con tegumentos blandos, que se embeben y germinan fácilmente, suelen ser las que se ven más perjudicadas al exponerlas a condiciones adversas, como lo fue en este caso la temperatura en el proceso de compostaje. En la especie *P. ponderosa* no se perdió ninguna semilla de los tratamientos, y el daño estructural fue menor. Esta

especie presenta el fenómeno que se conoce como serotinia, lo que implica que las semillas sólo sean viables después de que tenga lugar un suceso que las active, como por ejemplo la temperatura del fuego. Es por eso que su capacidad para soportar la temperatura es mayor a la de las demás semillas, esto brinda una ventaja durante las altas temperaturas de la etapa termofílica del compostaje frente a las demás semillas.

6. 3 Porcentaje de germinación

La imbibición desencadena la germinación de la semilla, este proceso de hidratación depende de la especie considerada (Villamil y García, 1998). Por ejemplo, *C. scoparius* presentaba tegumentos duros que posiblemente dificultaron su imbibición. La presencia de tegumentos duros ocurre en muchas leguminosas, donde la entrada de agua está dificultada por las cubiertas seminales, siendo necesario que éstas se alteren mecánicamente para que la imbibición tenga lugar. Una de las posibles causas para la presencia de tegumentos duros, puede ser una deshidratación prolongada, que pueda implicar la transformación de las semillas en "semillas duras".

Las semillas de *C. scoparius* se caracterizan por embeberse muy lentamente, generando así una germinación más lenta y heterogénea. Las semillas de esta especie que se encontraban deshidratadas, al cabo de una semana no germinaron, pero al cabo de 2 semanas geminaron 3 semillas de las 40 iniciales que ingresaron a la cámara de incubación. Como se observó en la bibliografía, se dio un mecanismo de germinación más lento, donde recién al cabo de dos semanas 5% de las semillas pudo atravesar las barreras internas para germinar (Villamil y García, 1998).

Luego de la imbibición, para que se produzca la germinación de una semilla, son necesarias tres condiciones, el embrión tiene que ser viable, los factores externos ser favorables y no presentarse factores internos que impidan la germinación. En nuestro ensayo con las semillas control, los factores externos estaban controlados y las semillas eran viables de acuerdo a datos de viabilidad, cualquier tipo de alteración en la germinación se debió a factores internos de cada semilla para cada especie.

Existe un amplio rango de intensidades de latencia que va desde la latencia absoluta, hasta el extremo donde no hay latencia (Varela y Arana, 2011). La especie *P. ponderosa*, presenta una latencia intermedia lo que hace que el porcentaje de germinación sea bajo, aún en condiciones óptimas a 20-25°C (Pasquina y Defossé, 2012). A esta especie se le suele hacer un tratamiento de estratificación, que consiste en permanecer por un periodo mayor a 21 días a una temperatura de entre 1-5 grados. Esta especie fue estratificada por un largo periodo antes de su uso, sin embargo, dos factores a tener en cuenta fueron que las semillas se retiraron de la heladera al momento de realizar el ensayo y se conservaron a temperatura ambiente todo el tiempo posterior. Los controles se hicieron al mes siguiente, una vez cosechadas las primeras semillas. Durante este periodo, las semillas permanecieron en una bolsa plástica no cerrada herméticamente; esto podría haber sido un error, ya que un estudio señala que, para conservar correctamente las semillas de esta especie a temperatura ambiente, los recipientes de conservación deben estar cerrados herméticamente para conservar la humedad al 7%, una de las condiciones más importante para mantener la energía de germinación o vigor (Pasquini y Defossé, 2012).

Por último, las especies *D. sativus*, *L. perenne* y *S. lycopersicum*, germinaron en porcentajes superiores al 75% para sus controles, al cabo de una semana de incubación. Las mismas no presentaron ningún tipo de factor interno que impidiera o retrasara la germinación. Su velocidad de imbibición fue relativamente rápida y al poco tiempo alcanzaron la fase tres de la germinación produciéndose la emergencia. Las semillas de las distintas especies sometidas al proceso de compostaje, incubadas a distintas profundidades en las pilas y cosechadas en distintos tiempos no germinaron, lo cual coincide con datos de la bibliografía (Tompkins et al., 1998; Grundy et al., 1998). En este caso la presencia de factores externos fue la que impidió en la prueba de germinación que las semillas germinaran. Una vez que las semillas se hidrataron dentro de las pilas, son varios los factores externos que pudieron influir afectando la germinación y la viabilidad posterior de las semillas. Entre los más importantes se encuentran el exceso de humedad, la velocidad de hidratación, la temperatura a la que tiene lugar la imbibición y la presencia de sustancias fitotóxicas (Villamil y García, 1998). Es importante recordar que las pilas alcanzaban temperaturas iguales o

superiores a 55 °C en todo el volumen de la pila, con una humedad elevada debido a que el porcentaje inicial de humedad del lodo es igual o mayor a 85% (Laos et al., 2000).

6. 4 Porcentaje de viabilidad.

La experiencia ha mostrado que, con la mayoría de las semillas, los resultados de la prueba de tetrazolio para evaluar la viabilidad suelen mostrar porcentajes mayores que los de germinación real (Landis et al., 1999). La prueba de viabilidad nos revela una serie de aspectos esenciales para conocer, no solamente la calidad del lote, sino que también puede servir de guía para identificar otros factores que pueden estar afectando a las semillas; entre ellos la dormición, que suele ser la causa de una menor germinación (Ruiz, 2009).

En cuanto a la intensidad de tinción, fueron pocas las semillas que lograron teñirse correctamente, debido a los grandes daños que poseían luego de ser colectadas de las pilas. Es importante tener en cuenta también que las desviaciones en la tinción o condición del embrión tienen una o más causas como, por ejemplo, lesiones mecánicas, envejecimiento, congelamiento, calentamiento, enfermedades, insectos o inmadurez. Siempre es útil establecer la intensidad de tinción normal para la condición de la prueba (tratamiento control) y luego tratar de explicar las desviaciones de esta condición normal (Moore, 1996).

La intensidad de tinción fue muy baja para las semillas de las distintas especies cosechadas luego de los volteos 3 y 5 y a las distintas profundidades. La especie que presentó la mayor intensidad de tinción fue *C. scoparius* debido a que muchas de sus semillas permanecieron intactas (no se embebieron) y no difirieron de los controles. Como se mencionó anteriormente, cabe destacar que el porcentaje de semillas recuperadas de esta especie no supero el 5%, por lo que la intensidad de tinción se calculó sobre ese porcentaje. Las demás especies no superaron el valor 3 en una escala del 1 al 10, considerando valores de 10 para los controles de cada especie.

Las semillas con mayor cubierta protectora dura o con algún tipo de dormancia, fueron las que tuvieron el mayor porcentaje de viabilidad final (Villamil y Garcia,

1998). En estos casos de latencia física, el embrión está encerrado dentro de una cubierta impermeable que puede preservar las semillas con bajo contenido de humedad durante varios años, aún con temperaturas elevadas. Esto no solo disminuye la germinación, sino que también cumple funciones críticas como regular la absorción de agua, proporcionar una barrera contra hongos y reducir el escape del embrión durante la hidratación. Estos mecanismos generaron que las semillas demoraran más tiempo para embeberse y los embriones permanecieron más tiempo protegidos sin contacto con el exterior. Algunos tratamientos para lograr la hidratación del embrión, y como consecuencia la germinación, son la estratificación y la escarificación. Estos procesos incluyen que se rompa, raye, altere mecánicamente o ablande la cubierta de las semillas para hacerlas permeables al agua y a los gases; también puede realizarse una exposición a largos periodos de humedad en frío o calor (Varela y Arana, 2011).

La viabilidad de las semillas fue muy baja debido a la alta destrucción producida por las condiciones a las que fueron expuestas dentro de las pilas y los tres factores considerados (intensidad de la tinción, turgencia de los tejidos y presencia y condición de los componentes) fueron relevantes a la hora de determinar la viabilidad de las semillas. Es importante destacar que la interpretación visual de la tinción es subjetiva y requiere experiencia, especialmente en semillas pequeñas (Howarth y Taylorson, 1983), por lo que, en muchos casos, la turgencia y estructura de los componentes internos, aportaron datos contundentes a la hora de definir viabilidad positiva o negativa.

En el caso particular de *P. ponderosa*, parecería que hasta el tercer volteo a la menor profundidad las condiciones del compost no resultaron suficientes para inactivar la totalidad de las semillas. Esto puede deberse a que ese periodo de tiempo no es el necesario para dañar o inactivar a este tipo de semillas con diferentes mecanismos de latencia. La menor profundidad podría significar menor temperatura, sin embargo, las mediciones con los termómetros se hicieron a 20 cm de la superficie y sus temperaturas fueron iguales de altas o mayores a las temperaturas de zonas más profundas (60 cm).

Por último, los datos de viabilidad fueron muy similares a los de germinación dentro de los tratamientos para cada especie. En este sentido, la inactivación de las semillas fue completa, no solo reduciendo su poder germinativo sino también

su viabilidad a valores cercanos a cero exceptuando a la especie *C. scoparius* en el caso de la viabilidad.

6. 5. Germinación del banco de semillas

6. 5. 1. Recuento de plántulas en pilas en maduración

El recuento de plántulas obtenido a partir de las pilas en maduración fue nulo. Esta parte del proceso, como se mencionó en los objetivos, era una de las posibles alternativas para el ingreso de las semillas al compost, sin embargo, debe considerarse que, para el ensayo, las muestras se tomaron a 10 cm de la superficie, apartando el material superficial. Recordemos que la etapa de maduración se realiza al aire libre en pilas completamente expuestas al ambiente (Mazzarino et al., (b) 2012). La superficie de estas pilas se encuentra cubierta por plantas, principalmente herbáceas exóticas que todas las temporadas las cubren completamente. Estas especies depositan sus semillas sobre la superficie, lo que generaría así un importante banco de semillas. Teniendo en cuenta esto, no podemos descartar que las semillas estén presentes en las superficies de las pilas y no hayan sido capturadas al momento de tomar las muestras.

Por otro lado, es importante remarcar que, con el control positivo que se hizo en el compost en maduración, también se descartó la posibilidad de que el banco de semillas no germinara debido a sustancias fitotóxicas, lo cual podría haber significado una posible explicación a la ausencia en el recuento de plántulas. No haber encontrado semillas en las muestras tomadas a 10 cm de la superficie de las pilas nos confirma que la etapa previa del proceso, fue efectivo para la inactivación de semillas.

6. 5. 2. Recuento de plántulas en compost maduro tamizado.

La segunda alternativa para el ingreso de semillas al compost, se podría producir en esta etapa final de tamizado. Como se vio en los resultados, el ingreso de las semillas a las pilas de compostaje se produjo en esta etapa final donde la pala mecánica remueve la pila para cargarla en camiones que posteriormente llevan

el compost a tamizar. Si bien al momento de tomar el compost se realiza un decapado de la superficie con el objetivo de eliminar todas las semillas y plantas presentes en la superficie, claramente el mismo no parece ser suficiente para eliminar la totalidad de las semillas contaminantes. Esto podría deberse a que para el traslado se utiliza una pala mecánica que mezcla, en parte, la superficie de la pila contaminada con semillas. Remover una capa de la superficie de las pilas de mayor espesor antes de extraer el compost para luego tamizarlo, podría ser una alternativa efectiva para terminar de eliminar el banco de semillas presente en la superficie.

7 Conclusión

Las semillas se inactivaron correctamente durante el proceso de compostaje, sin embargo, al realizar todo el proceso de maduración al aire libre, existe contaminación superficial de las pilas por semillas de especies aleatorias a la planta de compostaje que es la responsable de la presencia de semillas en el producto final. Las pilas en maduración son constantemente contaminadas por semillas de plantas aleatorias generando así año a año un banco de semillas cada vez mayor. Es por eso que el correcto manejo de las pilas en esta etapa final del proceso podría reducir o eliminar la presencia de semillas viables. La remoción de una capa de espesor superior de la superficie que recubre estas pilas de maduración parecería ser la solución para evitar el ingreso de semillas al momento del traslado para su tamizado. Otra alternativa podría ser cubrir las pilas con alguna protección evitando así el ingreso de semillas desde el exterior.

8 Bibliografía

- Álvarez Cisneros, O.; Pérez-Reyes, C. M. y Bonilla-Vichot, M. (2020). Evaluación de la viabilidad en semillas de *Pinus* tropicales Morelet con diferente tiempo de almacenamiento. *Avances*, 22: 97-109.
- 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.
- Arrigoni, J. P. (2016). Optimización del proceso de compostaje de pequeña escala. Tesis de Doctorado en Biología. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 190 pp.
- Barbaro, L.A y Karlanian, M.A. (2012). Uso del compost en la formulación de sustratos para plantas. En: M.J. Mazzarino & P. Satti (eds.). *Compostaje en Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. pp.175-184. UNRN y Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.
- Barrios García Moar, G. E. (2019). San Carlos de Bariloche, una ciudad en expansión ¿planificada? XXI Jornadas de Geografía de la UNLP. La Plata. ISSN 2362-4221
https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/3870/3/GBarrios%20-%20Bariloche%2C%20%C2%BFuna%20ciudad%20en%20expansi%C3%B3n_%20-%20Documentos%20de%20Google.pdf
- Basil, G.; Mazzarino, M.J; Roselli, L. y Letourneau, F. (2009). Efecto del compost de biosólidos en la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera). *Ciencia del Suelo*, 27: 49-55.
- Biagini, A. (2020). Digestión anaeróbica de lodos generados en la depuración de las aguas residuales de San Carlos de Bariloche y aprovechamiento energético de biogás. Trabajo final Integrador Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Río Negro. 145 pp.
- Branzini, A. y Zubillaga, M.S. (a) (2012). Uso de compost de biosólidos en remediación de suelos. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. UNRN-Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 271-282.
- Branzini, A. y Zubillaga, M. S. (b) (2012). Comparative use of soil organic and inorganic amendments in heavy metals stabilization. *Applied and Environmental Soil Science* 2012,
- Cóppola, Javier, Pescio, F., y Schamber, P (2022). Análisis de manejo de residuos sólidos urbanos y elaboración de aboneras para huertas traspatio en San Andrés de Giles (Bs. As.). *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 48(1), 90-99.

- Courtis, A. C. (2013). Germinación y desarrollo. Guía de Estudio Cátedra de Fisiología Vegetal FaCENA Departamento: Biología. Área: Botánica. Carreras: Profesorado y Licenciatura en Biología. pp. 22.
- Eghball, B. y Lesoing G.W. (2000). Viability of Weed Seeds Following Manure Windrow Composting, *Compost Science & Utilization*, 8: 46-53.
- Fernández, N.; Mermoz, M. y Puntieri, J. (2007). Plantas exóticas invasoras en los parques nacionales de Patagonia. (APN – UNC). <https://es.scribd.com/doc/3910028/Las-plantas-exoticas-invasoras-de-los-Parques-Nacionales-de-Patagonia>
- Funes R. G. y Ceriale R. M. (2021). Plan director de saneamiento y agua potable de San Carlo de Bariloche y Dina Huapi. Sistema de colección y tratamiento de efluentes cloacales Dina Huapi. Funes y Ceriale, *Consultores de Ingeniería*, 239: 65-67.
- Gallo, C.; França-Neto, J.B.; Arango, M.; González, S.; Francomano, V.; Carracedo, C.; Costa, O.; Alves, R y Craviotto, R. (2016). Prueba de tetrazolio como método de vigor para semillas de Glycinemax. Propuesta de validación del método para ISTA. Publicación de INTA Estación Experimental Agropecuaria Oliveros, Argentina. Para mejorar la producción, 54: 105-114.
- Gea, F.J. y Navarro, M.J. (2009). Efecto del té de compost y de varios fungicidas sobre la producción de champiñón. Centro de Investigación, Experimentación y Servicios (C.I.E.S.) del champiñón., <https://docplayer.es/29020651-Efectos-del-te-de-compost-y-de-varios-fungicidas-sobre-la-produccion-de-champinon.html>
- Grabe, D.F. (1970). Tetrazolium testing handbook for agricultural seeds. Contribution to the Handbook on seed testing Volume 29. Association of Official Seed Analysts, Las Cruces, EEUU. 62 pp.
- Grundy, A. C.; Green, J.M. y Lennartsson, M. (1998). The Effect of Temperature on the viability of weed seeds in compost. *Compost Science & Utilization*, 6: 26-33.
- Hernández F. S, y Corredor, G. R. (2016). Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Revista de Tecnología*, 15: 57-76.
- Horwitz, M. y Taylorson, R. B. (1983). Effect of high temperatures on imbibition, germination, and thermal death of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seeds. *Canadian Journal of Botany*, 61: 2269-2276.
- ISTA (2016). Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas 2016. Capítulo 6: La prueba bioquímica para la viabilidad: el ensayo topográfico de tetrazolio.
- Kowaljaw, E. y Varela, S. (2012). Presencia de semillas viables en compost. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). *Compostaje en la Argentina: Experiencias*

- de producción, calidad y uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 67-74.
- Kowaljow, E. y Mazzarino, M.J. (2012). Restauración de ecosistemas naturales. Estudio de caso en la estepa patagónica con compost de biosólidos y de residuos orgánicos urbanos. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 241-256.
- Landis, T.D; Tinus, R.W y Barnett, J.P. (1999). The Container tree nursery manual. Volume 6. Seedling Propagation. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service. (USDA-FS). <https://rngr.net/publications/ctnm/volume-6>
- Laos, F.; Mazzarino, M. J; Satti, P.; Roselli, L.; Moyano, S.; Ruival, M. y Moller Poulsen, L. (2000). Planta de compostaje de biosólidos: investigación y desarrollo en Bariloche, Argentina, 50: 86-89.
- Laos, F.; Mazzarino, M.J. y Satti, P. (a) (2012). Aspectos legales del uso de residuos orgánicos. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 55-66.
- Laos, F.; Mazzarino, M.J.; Roselli, L. y Satti, P. (b) (2012). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 257-270.
- Larney, F.J. y Blackshaw, R.E. (2003). Weed seed viability in composted beef cattle feedlot manure. *Journal of Environmental Quality*, 32: 1105-1113
- Lavado, R.S. (2012). Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 3-12.
- Liang, C; Das, K.C y McClendon, R.W (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology*, 86:131-137.
- Madaschi, C.E. (2018). Bioensayos como prueba de madurez en un compost de biosólidos producido en Bariloche: Selección de especie y relación con otros parámetros de madurez/estabilidad. Tesina de grado de Licenciatura en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Comahue. Bariloche. 76 pp.
- Matilla, A.J. (2007). Desarrollo y germinación de las semillas. En: J. Azcón-Bieto, M. Talón (Ed). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, Capítulo 2. pp.537-558.

- Mazzarino, M.J.; Satti, P. y Roselli, L. (a) (2012). Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 13-28.
- Mazzarino, M.J.; Satti, P.; Laos, F.; Crego, M. P.; Kowaljew, E.; Fernández, H. y Poulsen, L. (b) (2012). Compostaje de biosólidos: 12 años de la Planta de Bariloche. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 99-106.
- Mercadal, P.A.; Vázquez, C.; Andrada, G.; Hernández, J.F.; Laurella, E.; Migliore, J.A. y Campitelli, P.A. (2021). Efecto de la aplicación de enmiendas sobre la actividad enzimática y parámetros fisicoquímicos del suelo en condiciones controladas. *Nexo Agropecuario*, 9: 38-43.
- Moore, R. P. (1996). Tetrazolium test for diagnosing causes for seed weaknesses and for predicting and understanding performance. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*, 56: 70-73.
- Navarro, P.; Moral, H.; Gómez L. y Mataix, B. (1995). Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. Secretariado de publicaciones. Murcia, España. 156 pp.
- Pasquini, N.M y Defossé, G.E. (2012). Effects of storage conditions and pre-chilling periods on germinability of *Pinus ponderosa* seeds from Patagonia, Argentina: preliminary study. *Bosque*, 33: 99-103.
- Peralta, E.; Gonzáles, R.; Von Haefen, G.; Comino, A.P.; Gayoso, G. y Scagliola, M. (2012). El compostaje aplicado a los barros cloacales primarios de la ciudad de Mar del Plata. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 107-123.
- Resolución 410/2018. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2018. Norma técnica para el manejo sustentable de barros y biosólidos generados en plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales-industriales. Poder Ejecutivo Nacional, República Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolución-410-2018-312348/texto>
- Ringuelet, A.; Rollán, A.; Koritschoner, J.; Blarduni, V. y Vargas, L. (2019). Elaboración de enmiendas y de sustratos con fines productivos y didácticos en una planta de compostaje de residuos vegetales urbanos en la UNC. *Nexo Agropecuario*, 7: 53-61.
- Rojas, J.M. (2013). Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. INTA Centro Regional Chaco Formosa.

- Rojas, F. P; Quispe J. L y Cabello, N. G. (2015). Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. *andigena* Hawkes). Revista Mexicana de Fitopatología 33: 116-139
- Ruiz, M. A. (2009). El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. Publicación Técnica nº 77. 1-19. EEA INTA Anguil, Argentina. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-el_analisis_de_tetrazolio_en_el_control_de_calidad_de_.pdf.
- Satti, P. (2021). Experiencias de compostaje de Residuos Orgánicos Urbanos. I Jornadas Bonaerenses de Compostaje. Facultad de Agronomía UNCPBA, Azul, Argentina.
- Satti, P.; Mazzarino, M.J.; Laos, F.; Roselli, L y Crego, M.P. (2012). Compostaje de materiales de diferente origen: experiencias del Grupo de Suelos del CRUB. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 75-98.
- Sayara, T; Salimia, R. B; Hawamde, F y Sánchez, A. (2020). Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. Agronomy, 10, 1838.
- Semenas, L. (2012). Patógenos en residuos orgánicos. En: M.J. Mazzarino y P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 29-54.
- Tognetti, C. (2007). Compostaje de residuos orgánicos urbanos: optimización del proceso para una mayor calidad del producto final. Tesis de Doctorado en Biología. Universidad Nacional del Comahue. Bariloche. 198 pp.
- Tompkins, D.K.; Chaw D. y Abiola A.T. (1998). Effect of windrow composting on weed seed germination and viability. Compost Science and Utilization, 6: 30-34.
- Trasviña, A.; García G.E.; Peña, C.A.; Seminario, P.J y Nieto, G.A. (2021). Residuos orgánicos: ¿basura o recurso? Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California Sur, México. Recursos Naturales y Sociedad, 7: 19-42
- Valdecantos, A.; Fuentes, D y Cortina, J. (2004). Utilización de biosólidos en la restauración forestal. En: V.R. Vallejo y J.A. Alloza (eds). Avances en el estudio de la gestión del monte Mediterráneo. Fundación CEAM, Valencia, pp 313-344.
- Vankus, V. (1997). The Tetrazolium estimated viability test for seeds of native plants. En: T. D. Landis y J. R. Thompson (tech. coords.) National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. Gen. Tech.

- Rep. PNW-GTR-419. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. pp 57-62. <https://rngr.net/publications/proceedings/1997/vankus.pdf> at_download/file
- Varela, S. A. y Arana, V. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Serie técnica: "Sistemas Forestales Integrados". Sección: "Silvicultura en Vivero", Cuadernillo N° 3. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/11393>
- Varela, S. A.; Gobbi, E.M. y Laos, F. (2006). Banco de semillas de un bosque quemado de *Nothofagus pumilio*: efecto de la aplicación de compost de biosólidos. *Ecología Austral*, 16: 63-78.
- Varela, S. A.; Gobbi E.M. y Laos, F. (2011). Can biosolids compost improve, in the short term, native vegetation and soils fertility in burned *Nothofagus pumilio* forest in Patagonia, Argentina? *Bosque*, 32: 267-278.
- Villamil, O.M.P. y García, F.P. (1998). Germinación de semillas. Hojas Divulgadoras Num. 2112 HD Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 16 pp. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf
- Zubillaga, M. S.; Bressan, E y Lavado, R. S. (2012). Effects of phytoremediation and application of organic amendment on the mobility of heavy metals in a polluted soil profile. *International Journal of Phytoremediation*, 14: 212-220.
- Zubillaga, M. S. (2012). Remediación de suelos forrajeros contaminados con metales pesados: impacto de la aplicación de residuos orgánicos y fitoextracción. Tesis doctoral. Universidad nacional de da Coruña. Departamento de Física y Química. 176 pp.

9 Anexos

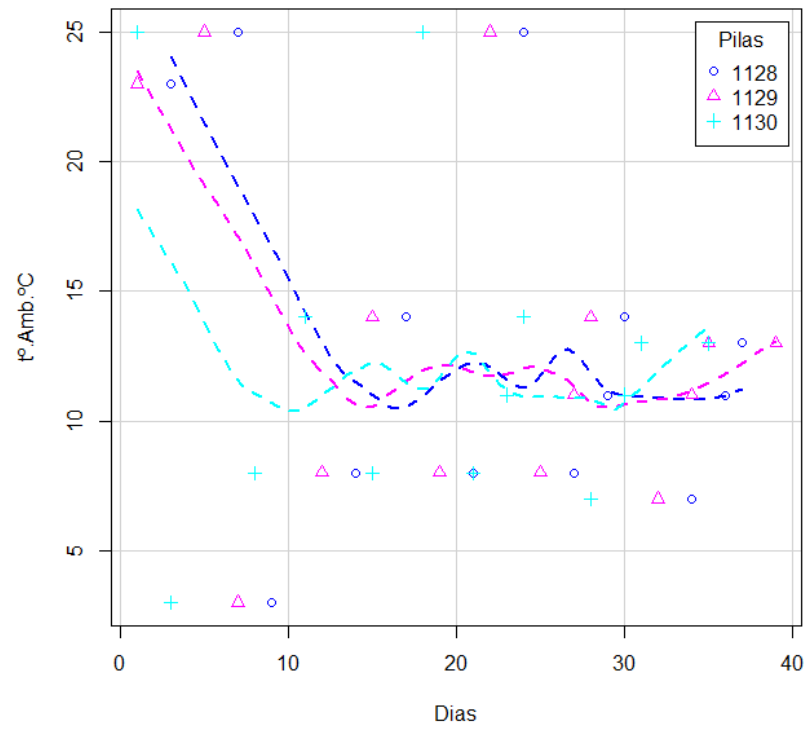


Figura 1: Temperatura ambiente en función de los días transcurridos para cada pila.



República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional
2018 - Año del Centenario de la Reforma Universitaria

Informe

Número:

Referencia: NORMA TÉCNICA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE BARROS Y BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DEPURADORAS DE EFLUENTES LÍQUIDOS CLOACALES Y MIXTOS CLOACALES-INDUSTRIALES

ANEXO

NORMA TÉCNICA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE BARROS Y BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DEPURADORAS DE EFLUENTES LÍQUIDOS CLOACALES Y MIXTOS CLOACALES-INDUSTRIALES

TÍTULO I - DEFINICIONES

ARTÍCULO 1°.- Para los fines de la presente NORMA TÉCNICA se aplican las siguientes definiciones:

ATRACCIÓN DE VECTORES: Potencial de los barros cloacales y biosólidos de atraer roedores, insectos voladores y rastros, y otros organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos.

BARROS CLOACALES: Mezcla de sólidos con distinto porcentaje de humedad originados como consecuencia de las operaciones de depuración de los efluentes líquidos cloacales y mixtos cloacales industriales.

Nota: Los barros cloacales también son definidos como LODOS CLOACALES.

BIOSÓLIDOS: Barros cloacales sometidos a tratamientos de estabilización y/o higienización mediante procesos físicos, químicos o biológicos.

CARGA MÁXIMA ADMITIDA: Dosis máxima de aplicación de biosólidos en cuerpo receptor, según la concentración de Elementos Potencialmente Tóxicos.

CUERPO RECEPTOR: Toda superficie apta para la aplicación o disposición contemplada en la presente norma. Quedan excluidos los cuerpos de agua superficial y subterránea.

DISPOSICIÓN: Incorporación o tratamiento de barros cloacales o biosólidos a un cuerpo receptor sin propósito de uso, ya sea en contacto directo con este último o en dispositivos especialmente diseñados para su aislamiento del medio.

ELIMINACIÓN: Transformación de barros cloacales o biosólidos mediante tratamientos térmicos.

DOSIS ANUAL DE BIOSÓLIDOS: Cantidad máxima de biosólidos (en peso seco) que puede ser aplicada a una unidad de superficie de suelo durante un período de UN (1) año.

ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPTs): Son elementos tóxicos en bajas concentraciones, comúnmente denominados “metales pesados” a pesar que algunos de ellos no son metales. Varios son micronutrientes esenciales para las plantas y los animales.

ENMIENDA: Sustancia o mezcla de sustancias de carácter inorgánico, orgánico, o biológico que incorporada al suelo modifique favorablemente sus caracteres físicos, fisicoquímicos, químicos o biológicos sin tener en cuenta su valor como fertilizante.

ENMIENDA ORGÁNICA: Sustancia orgánica que actúa como enmienda.

ESTABILIZACIÓN: Proceso que involucra el o los tratamientos destinados a reducir la atracción de vectores y los procesos de biodegradación.

FORMAS DE USO: Empleo de biosólidos según los usos establecidos de acuerdo a los valores de referencia definidos en la presente norma.

HIGIENIZACIÓN: Proceso que involucra el o los tratamientos tendientes a la disminución del contenido de agentes patógenos.

SITIOS DEGRADADOS: Lugares en los que, debido a actividad antrópica o a fenómenos naturales, ha ocurrido un deterioro del suelo por la alteración de sus propiedades o su desaparición y que afecta la capacidad de soporte de la vegetación preexistente. El término se hace extensivo a los lugares en donde ha ocurrido un deterioro o desaparición de la vegetación natural o implantada y en los que se incrementa la susceptibilidad del suelo o procesos de degradación.

TECNOSOLES: material tipo suelo, suelo removido por excavación, suelos artificiales, suelos tratados o material de relleno.

VALOR DE REFERENCIA: Cifra establecida que expresa los valores admisibles de:

- a) la concentración de un determinado elemento o compuesto químico en un cuerpo receptor;
- b) la concentración de un determinado elemento o compuesto químico en barros o biosólidos;

TÍTULO II – OBJETIVO Y ALCANCE

ARTÍCULO 2º.- La presente NORMA TÉCNICA tiene por objeto establecer los criterios para el manejo, tratamiento, utilización, disposición o eliminación de los barros y biosólidos resultantes de las diferentes operaciones unitarias que realicen las plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos (cloacales-industriales), a efectos de asegurar una gestión sustentable de estos materiales.

ARTÍCULO 3º.- La presente NORMA TÉCNICA tiene el propósito de proteger y preservar la salud y el ambiente, conformando una guía metodológica de referencia para las diferentes jurisdicciones donde entes públicos o privados presten el servicio sanitario de depuración de efluentes líquidos cloacales y mixtos (cloacales-industriales).

ARTÍCULO 4º.- Los biosólidos que se encuentren por encima de los valores de referencia de la Tabla N° 2 del ANEXO II o que posean alguna de las características que los definen como peligrosos en los términos del marco regulatorio vigente, no serán considerados aptos para su utilización, según las FORMAS DE USO definidas en el Artículo 10 del TÍTULO IV- FORMAS DE USO Y DISPOSICIÓN.

TÍTULO III - TIPOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE BIOSÓLIDOS

ARTÍCULO 5°.- Los biosólidos deberán ser clasificados conforme al presente Título y atendiendo el diagrama de flujo del ANEXO I.

ARTÍCULO 6°.- Clasificación de los biosólidos:

BIOSÓLIDOS CLASE A: Barros cloacales sometidos a alguno de los tratamientos descritos en el Punto 1 del ANEXO III (PRFP), procesos destinados a reducir fuertemente su nivel de patogenicidad y su capacidad de atracción de vectores, y que cumplan con alguno de los indicadores de estabilización de la Tabla N° 1 del ANEXO II y con el nivel de patógenos establecido para CLASE A de la Tabla N° 3 del ANEXO II.

BIOSÓLIDOS CLASE B: Barros cloacales sometidos a alguno de los tratamientos descritos en el Punto 2 del ANEXO III (PRSP), procesos destinados a reducir significativamente su nivel de patogenicidad y su capacidad de atracción de vectores, y que cumplan con alguno de los indicadores de estabilización de la Tabla N° 1 del ANEXO II, y con el nivel de patógenos establecido para CLASE B de la Tabla N° 3 del ANEXO II.

ARTÍCULO 7°.- Los biosólidos generados a través de alguno de los tratamientos definidos en el ANEXO III, que no logren alcanzar los niveles de estabilización definidos en la Tabla N°1 del ANEXO II o los niveles de patógenos de la Tabla N°3 del ANEXO II para biosólidos CLASE B, podrán ser tratados nuevamente hasta alcanzar los parámetros requeridos para su uso, o bien disponerse o eliminarse conforme la presente norma.

ARTÍCULO 8°.- Los barros cloacales que no posean tratamiento o que no puedan certificar alguno de los tratamientos definidos en el ANEXO III deberán ser dispuestos o eliminados según las alternativas definidas en el Artículo 10.

ARTÍCULO 9°.- La frecuencia de muestreo necesaria para las clases A y B de biosólidos son las indicadas en la Tabla N° 4 del ANEXO II, cuya periodicidad está dada en función de la cantidad de biosólidos generados. Los procedimientos de muestreo se encuentran sugeridos en el ANEXO VI.

TÍTULO IV - FORMAS DE USO Y DISPOSICIÓN

ARTÍCULO 10.- Se establecen las siguientes FORMAS DE USO, DISPOSICIÓN Y ELIMINACIÓN.

1 - FORMAS DE USO

1.1 FORESTACIÓN Y FLORICULTURA

Como enmienda en plantaciones forestales, ornamentales y viveros. Aplicaciones a parcelas forestadas juveniles o maduras. Reforestación en áreas disturbadas o reservas naturales y para promover el establecimiento de la vegetación.

1.2 RECUPERACIÓN DE SITIOS DEGRADADOS

En regiones sujetas a estados o grados incipientes de desertificación o pérdida de cobertura vegetal o suelo, derivados de causas naturales o antrópicas. Rehabilitación o mejoramiento de sitios degradados. Rehabilitación de pasivos ambientales.

1.3 RESTAURACIÓN DEL PAISAJE

En áreas que fueron sometidas a extracción minera, cobertura superficial o relleno de escombreras, canteras, tosqueras agotadas o diques de cola. Elaboración de tecnosoles para relleno o cobertura final en áreas de excavación o en aquellas sujetas a pérdida de suelos superficiales debido a obras de infraestructura. Mejora del paisaje.

1.4 ELABORACIÓN DE ABONOS O ENMIENDAS

Como insumo en procesos de elaboración de abonos o enmiendas orgánicas a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original.

1.5 CIERRE DE RELLENOS SANITARIOS

Como cobertura final o bio-coberturas en las acciones de clausura de rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos y en actividades de revegetación de los mismos.

1.6 PAISAJISMO

En la contención de taludes de caminos, rutas nacionales y provinciales. Parquización, jardines públicos y campos deportivos. Creación de hábitats con motivos estéticos.

1.7 OTROS USOS

Como insumo en la elaboración de elementos para la construcción, valorización energética y biorremediación de hidrocarburos, y otros que puedan incorporarse según el Artículo 8°, inciso a) de la presente resolución.

2. DISPOSICIÓN

2.1 COBERTURA DE RELLENOS SANITARIOS

Disposición como cobertura de las capas diarias de las celdas en rellenos sanitarios.

2.2 RELLENO SANITARIO EN CELDAS SEPARADAS

Comprende la disposición de barros cloacales o biosólidos en celdas especialmente asignadas dentro de un relleno sanitario o en instalaciones diseñadas a este sólo efecto.

2.3. INCORPORACIÓN A RELLENO SANITARIO

Comprende la disposición de barros cloacales o biosólidos como parte de un relleno sanitario para residuos sólidos urbanos con restricciones de cantidad máxima a disponer en relación con el total de residuos depositados.

2.4 TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN SUELO ("LANDFARMING")

Comprende la aplicación controlada de barros o biosólidos en el horizonte superficial del suelo o sobre este último, acompañado por un monitoreo continuo y un manejo adecuado para dar lugar a procesos biológicos que permitan degradar y transformar los constituyentes orgánicos e inmovilizar los compuestos o elementos inorgánicos presentes en dichos barros en predios que hayan sido habilitados por la autoridad local.

3. ELIMINACIÓN

3.1 INCINERACIÓN

Comprende la combustión de barros cloacales o biosólidos a altas temperaturas en cámaras de combustión

destinadas exclusivamente a esta finalidad y que hayan sido habilitadas por la autoridad local.

TÍTULO V - REQUERIMIENTOS, RESTRICCIONES Y APTITUDES DIFERENCIALES PARA EL USO Y APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS

ARTÍCULO 11.- Los biosólidos CLASE A podrán ser utilizados sin restricciones sanitarias para todas las FORMAS DE USO definidas en el Artículo 10.

ARTÍCULO 12.- Los biosólidos CLASE B poseen las siguientes restricciones sanitarias:

- a. Para las FORMAS DE USO 1.1, 1.2 y 1.3, el acceso al público y animales se debe restringir durante UN (1) año a partir de su aplicación;
- b. No podrán ser utilizados para la FORMA DE USO 1.6;
- c. No podrán ser utilizados en sitios con alta exposición, de contacto directo o de alto tránsito, como tampoco en establecimientos tales como hospitales, escuelas o conjuntos de viviendas.
- d. No podrán ser utilizados en sitios ubicados a menos de 100 metros de distancia de viviendas o establecimientos como los mencionados en el punto c.

ARTÍCULO 13.- No podrán aplicarse biosólidos cuando la concentración de Elementos Potencialmente Tóxicos que se encuentra en el cuerpo receptor, supere los valores de referencia definidos en la Tabla N° 5 del ANEXO II.

ARTÍCULO 14.- La cantidad de biosólidos que se puede aplicar por año en un cuerpo receptor viene determinada por la DOSIS ANUAL DE BIOSOLIDOS (DAB). La misma se debe calcular para las FORMAS DE USO 1.1, 1.2, 1.3 y 1.6., según se detalla en el Anexo IV, punto A.

ARTÍCULO 15.- La cantidad máxima de biosólidos que se puede aplicar en un cuerpo receptor viene determinada por la DOSIS MÁXIMA DE APLICACION (DMA). La misma se debe calcular para las FORMAS DE USO 1.1, 1.2, 1.3 y 1.6., según se detalla en el Anexo IV, punto B.

ARTÍCULO 16.- La DAB y la DMA se deben calcular para cada uno de los ETPs definidos en las tablas del ANEXO II y definir la dosis de aplicación según el valor más restrictivo. No podrán utilizarse los biosólidos cuando por la aplicación de los mismos se superen los valores de referencia definidos en la Tabla N° 7 del ANEXO II.

ARTÍCULO 17.- Se podrá considerar para las FORMAS DE USO 1.1, 1.2, 1.3 y 1.6, previo a establecer la DAB y la DMA, el cálculo de la DOSIS DE APLICACIÓN POR NUTRIENTES, según los lineamientos del ANEXO V.

ARTÍCULO 18.- Para el sitio o cuerpo receptor donde se decida realizar la aplicación de biosólidos, se deben considerar los siguientes criterios o consideraciones:

- a. Estar ubicado a más de 300 metros de una captación de agua subterránea o pozos de toma de agua potable público o privado. Estar ubicado como mínimo a 300 metros del curso o cuerpo de agua más cercano (ambientes lénticos, lóticos, cuerpos permanentes o transitorios). Estar ubicado a 300 metros de áreas anegadas o donde se verifiquen procesos de afloramiento del nivel freático recurrentes, tanto de origen natural o derivados de actividades antrópicas;
- b. Estar ubicado fuera de una franja contigua al punto de captación de aguas superficiales para agua potable de una longitud de 1.000 metros aguas arriba del punto de captación y 200 metros aguas abajo, y un ancho de 500 metros;

- c. Estar ubicado en áreas donde el suelo posea una permeabilidad menor a 10^{-4} cm/seg;
- d. Estar ubicado en áreas donde el suelo posea un pH superior a 5;
- e. Estar ubicado en suelos arcillosos, arcillo-limosos, franco arcillosos o franco arcillo limosos;
- f. Estar ubicado en áreas donde el nivel freático se encuentre a más de 2 metros de profundidad;
- g. Estar ubicado en áreas donde el contenido de EPT en el suelo no supere alguno de los valores de referencia que figuran en la Tabla N° 6 del ANEXO II;
- h. Estar ubicado en áreas con pendientes inferiores al DIEZ POR CIENTO (10%). En los casos de suelos con pendientes superiores al 10%, y para los sitios sujetos a restauración del paisaje, se podrá realizar aplicación localizada.
- i. Estar ubicado en zonas donde no exista un balance hídrico desfavorable o negativo para su aplicación.

ARTÍCULO 19.- Para casos específicos de aplicaciones de biosólidos en los que se verifiquen excedencias en alguno de los parámetros de uso, se podrá evaluar la aplicación de los mismos en sitios con características particulares, debiendo considerar su dosificación dentro de los márgenes de riesgo aceptables para su uso de acuerdo a la situación y ubicación geográfica particular.

ARTÍCULO 20.- A los fines de garantizar que durante el almacenamiento de barros cloacales o biosólidos no existan riesgos para la salud, el bienestar para la población y el ambiente, se recomienda que el recinto destinado a tal fin se encuentre aislado, con rejilla perimetral para recolección de lixiviados, con techo cobertor y acceso restringido. Asimismo, se requiere que los barros sean acopiados en condiciones donde se pueda asegurar que los mismos se encuentren estabilizados o no generen olores.

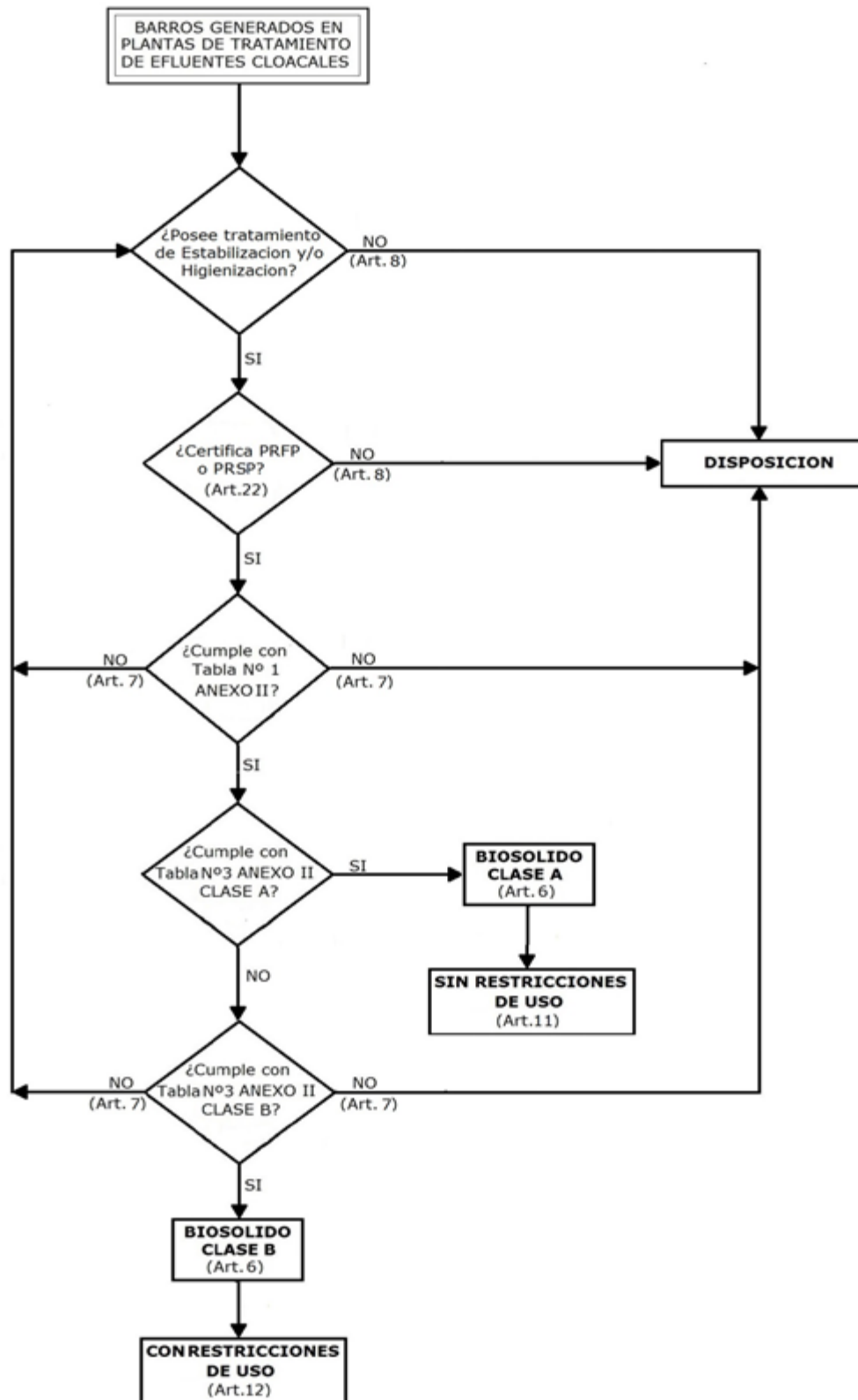
TITULO VI - PROCEDIMIENTOS PARA EL CONTROL DE GESTIÓN

ARTÍCULO 21.- El control de la gestión integral de barros cloacales generados y biosólidos producidos, requiere que las plantas depuradoras lleven un registro de la cantidad, caracterización y destino de los mismos.

ARTÍCULO 22.- Los procesos de estabilización y/o higienización establecidos en el ANEXO III deberán estar certificados por un profesional técnico calificado.

ANEXO I

DIAGRAMA DE FLUJO



Las FORMAS DE USO y DISPOSICIÓN y los REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES para cada clase de biosólidos, están detallados en el Título IV y Título V respectivamente.

ANEXO II

VALORES DE REFERENCIA

Tabla N° 1

ESTABILIZACIÓN. REDUCCIÓN DE ATRACCIÓN DE VECTORES

INDICADOR *	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR DE REFERENCIA
Reducción de Sólidos volátiles (SV)**	Método SM 2540 G	SV > 38%
ó		
Deflexión de Oxígeno (DO) ***	Método SM 2710 B	DO < 1.5 mg O ₂ /hr/g ST

(*) Por otros indicadores para determinar la reducción de atracción de vectores consultar *EPA 503 CFR 40 Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*. Capítulo 8 y Apéndices C y D.

(**) Para calcular la diferencia en la Reducción de Sólidos Volátiles, se deben considerar como puntos de medición el momento previo y posterior al tratamiento elegido (ANEXO III).

(***) La Deflexión de Oxígeno se debe medir posterior al tratamiento elegido (ANEXO III)

Tabla N° 2

CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN BIOSÓLIDOS

PARÁMETRO	MÉTODOS ANALÍTICOS	MÉTODOS DE DIGESTIÓN	VALOR DE REFERENCIA (mg/kg materia seca)
Arsénico			75
Cadmio			40
zinc			4000
Cobre			1750
Cromo Total			1500
Mercurio			25
Níquel			400
		Método EPA 3050 A; 3050 B; 3051 A	

Plomo	Método SM 3112 B, 3113 B; 3114 B; 3120 B; 3125 B		1200
	Método EPA 200.7; 200.8; 200.9		

Tabla N° 3

NIVEL DE PATÓGENOS EN BIOSÓLIDOS. CLASIFICACIÓN

PARÁMETRO	MÉTODO DE DETERMINACIÓN	BIOSÓLIDOS	BIOSÓLIDOS
		CLASE A	CLASE B
Coliformes fecales	Método SM 9221 E; 9222 D	< 1000 NMP/g MS	< 2.000.000 NMP/g MS
Salmonella	Método SM 9260 D	< 3 NMP/4 g MS	

Tabla N°4

FRECUENCIA DE MUESTREO DE BIOSÓLIDOS

Cantidad de barros generados (Tn/Año base seca)	Periodicidad	Parámetros a determinar
Menor que 300	Anual	Tablas N° 1, 2 y 3 ANEXO II
Igual o mayor que 300 y menor que 1.500	Trimestral	
Igual o mayor que 1.500 y menor que 15.000	Bimestral	
Igual o mayor que 15.000	Mensual	

Nota: para los tratamientos de estabilización realizados a través del compostaje, los parámetros definidos en el ANEXO II deberán medirse una vez finalizado el proceso y previo a ser utilizado o enviado a disposición.

Tabla N°5**CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EN SUELOS**

PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA (mg/kg materia seca)
Arsénico	20
Cadmio	3
Cinc	600
Cobre	150
Cromo Total	750
Mercurio	0,8
Níquel	150
Plomo	375

Tabla N° 6**CARGA ANUAL DE APLICACION**

PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA (kg/ha.año)
Arsénico	0,5
Cadmio	0,15
Zinc	30
Cobre	12
Cromo Total	3
Mercurio	0,1
Níquel	3
Plomo	15

Tabla N° 7**CARGA MAXIMA DE APLICACION**

PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA (kg/ha)
Arsénico	1,8
Cadmio	0,5
Zinc	100
Cobre	40
Cromo Total	10
Mercurio	0,3
Níquel	10
Plomo	50

ANEXO III

TRATAMIENTOS DE ESTABILIZACIÓN Y/O HIGIENIZACIÓN

1. PROCESOS QUE REDUCEN FUERTEMENTE LOS PATÓGENOS (PRFP)

1.1. COMPOSTAJE

Pilas estáticas: La temperatura de la pila o hilera es mantenida a 55°C o más durante tres días.

Pilas con volteo: La temperatura de la pila o hilera es mantenida en 55°C o más durante 15 días. Durante dicho período, la hilera es volteada como mínimo cinco veces.

1.2. DIGESTIÓN ANAERÓBICA TERMOFÍLICA

Los barros son tratados en ausencia de aire, durante un período medio de 10 días a una temperatura media de 55°C.

1.3. DIGESTIÓN AERÓBICA TERMOFÍLICA

Los barros en estado líquido son agitados con aire u oxígeno a fin de mantener las condiciones de aerobiosis durante un período medio de residencia de 10 días a una temperatura entre 55 y 60°C.

1.4. SECADO POR CALOR

Los barros se someten al contacto directo o indirecto con una corriente de gases calientes a fin de reducir el contenido de humedad hasta un 10% o menos. La temperatura de las partículas de barros deben exceder los 80°C o la temperatura de los gases en contacto con los barros al momento de su salida del secador excede los 80°C.

1.5. TRATAMIENTO TÉRMICO

Los barros se calientan a 180°C o más durante 30 minutos.

1.6. PASTEURIZACIÓN

Los barros son mantenidos a una temperatura de 70°C o mayor por espacio de 30 minutos o más.

1.7. IRRADIACIÓN CON RAYOS BETA

Los barros son irradiados con rayos beta a partir de un acelerador a una dosis de al menos 1,0 megarad a temperatura ambiente (20°C).

1.8. IRRADIACIÓN CON RAYOS GAMA

Los barros son irradiados con rayos Gama a partir de ciertos isótopos, tales como Cobalto 60 y Cesio 137, a temperatura ambiente (20°C). Este proceso no se aplica a barros primarios.

2. PROCESOS QUE REDUCEN SIGNIFICATIVAMENTE LOS PATÓGENOS (PRSP)

2.1. COMPOSTAJE

Las hileras permanecen a una temperatura de 40°C o mayor durante cinco días. Dentro de este período, los barros se mantienen durante cuatro horas, en el total de los cinco días, a una temperatura mayor a los 55°C.

2.2. DIGESTIÓN ANAERÓBICA MESOFÍLICA

Los barros son tratados en ausencia de aire, durante un período medio de 15 días a una temperatura media de 35°C, o un periodo medio de 60 días a 20°C.

2.3. DIGESTIÓN AERÓBICA

Los barros se agitan con aire u oxígeno manteniendo una condición aeróbica por un tiempo determinado y a una temperatura específica. El tiempo de residencia será de 40 días a 20°C o de 60 días a 15 °C.

2.4. PLAYA DE SECADO

Los barros son secados sobre camas de arena o sobre celdas con la superficie pavimentada o no pavimentada. El período de secado no puede ser inferior a los tres meses, y durante dos de ellos la temperatura media ambiente no puede ser inferior a 0°C.

2.5. ENCALADO

Los barros son mezclados con cal, agregando la cantidad suficiente tal que el pH de la mezcla es llevado a 12 y se mantiene en dicho valor durante un período mínimo de dos horas de contacto.

2.6. ATENUACIÓN NATURAL

Los barros son estibados en hileras, con un volteo anual, durante un lapso mínimo de dos años.

ANEXO IV

A). Calculo de la DOSIS ANUAL DE BIOSOLIDOS (DAB)

La DSA que se podrá aplicar como máximo en un año a un cuerpo receptor se calcula en función de la concentración de EPT presente en los biosólidos y de los valores de referencia definidos en la Tabla N°6 del ANEXO II, según el siguiente procedimiento:

- i. Se analiza el contenido de EPT en los biosólidos a aplicar;
- ii. Se calcula la DOSIS ANUAL DE BIOSOLIDOS a aplicar para cada uno de los EPT según la siguiente fórmula:

$$DAB = (CAA \times 1.000) / C$$

Dónde:

DAB: Dosis Anual de Biosólidos sobre la base de peso seco (Tn/ha.año)

CAA: CARGA ANUAL DE APLICACION de EPT para cada compuesto (kg/ha.año), definidos en la Tabla N°6, ANEXO II

C: Concentración del EPT analizado en el biosólido (mg/kg, en materia seca)

1.000: Factor de conversión

- iii) Sobre la base en materia seca calculada en el paso anterior, se ajusta el valor obtenido considerando el porcentaje de solidos que poseen los biosólidos a emplear, obteniendo así la DOSIS REAL DE BIOSOLIDOS (DRB) según la siguiente fórmula:

$$DRB = (DAB \times 100) / MS$$

Dónde:

DRB: Dosis Real de Barros (Tn/ha.año)

DAB: Dosis Anual de Barros (Tn)

MS: Porcentaje de materia seca en el biosólido (% de solidos)

B) Calculo de la DOSIS MAXIMA DE APLICACION

La DMA define el periodo en años que se puede aplicar por hectárea en el cuerpo receptor manteniendo la DOSIS ANUAL DE BIOSOLIDOS (en materia seca DRB) calculada en el punto anterior con la misma concentración de ETPs, según la siguiente fórmula:

$$DMA = CMA / DRB$$

Tanto la DAB como la DMA deberán calcularse para cada uno de los ETP que sean considerados.

Dónde:

DMA: Dosis Máxima de aplicación (años)

CMA: CARGA MAXIMA DE APLICACION de ETPs, definidos en la Tabla N° 7 del ANEXO II (Tn/ha)

DRB: Dosis Real de Barros (Tn/ha.año)

ANEXO V

El objetivo del presente ANEXO es brindar un ejemplo metodológico para calcular la dosis de aplicación limitada por nutrientes, Nitrógeno y Fosforo. Está definido para la aplicación o uso de los biosólidos dentro de las FORMAS DE USO 1.1, 1.2, 1.3, y 1.6 establecidas en el Artículo 10.

La dosis de aplicación limitada por nitrógeno o fosforo responde al déficit estimado de nutrientes de la plantación forestal o de la flora elegida para la revegetación en las acciones de recuperación de sitios degradados y restauración del paisaje, como también en la parquización y paisajismo, donde se utilicen biosólidos.

A) CÁLCULO DE LA DOSIS DE APLICACIÓN EN BASE A NITRÓGENO

Consideraciones previas:

- Si el suelo contiene una concentración menor a 50 mg/kg de fósforo (P-Olsen), la dosis de aplicación se calcula en base al Nitrógeno.
- Si el suelo contiene una concentración entre 50 y 100 mg/kg de fosforo (P-Olsen), deberá primero calcularse la limitación de aplicación en función de la concentración de fósforo presente en los biosólidos.
- Si el suelo contiene una concentración mayor a 100 mg/kg (P-Olsen) no se deberá aplicar biosólidos.

Procedimiento:

1) Calcular cuánto Nitrógeno aportan los biosólidos:

$$N \text{ BIOSOLIDOS} = (NO_3^- - N) + K_v * (NH_4^+ - N) + F_m * (N \text{ orgánico})$$

Dónde:

N BIOSOLIDOS: Nitrógeno inorgánico disponible para las plantas durante el 1er año de aplicación (kg/Tn)

(NO₃⁻-N): Concentración de nitratos en los biosólidos (kg/Tn)

K_v: constante de volatilización de amonio en base a sistema de aplicación (0.5 aplicado en superficie, 1.0 inyectado)

(NH₄⁺-N): concentración de amonio en los biosólidos (kg/Tn)

F_m: % de mineralización del N orgánico durante el primer año.

(N Orgánico): presente en los biosólidos (kg/Tn)

Si no existen datos de amonio y nitratos se asume que para biosólidos provenientes de barros poco estabilizados el amonio puede llegar a representar hasta 50% del N total, mientras que los nitratos son menos de 0,05% del N total (pueden despreciarse para el cálculo). En el caso de biosólidos resultado del proceso de compostaje, amonio + nitratos pueden representar entre 3-8% del N total, mayoritariamente como nitratos.

Tabla 1. Porcentaje de mineralización de N según tratamiento de los barros (usar en forma decimal: % dividido por 100)

Año	Tratamiento aeróbico	Estabilización con Cal	Tratamiento anaeróbico	Compostaje
0-1	30	30	20	10
1-2	15	15	10	5
2-3	8	8	5	3
3-4	4	4	3	3
4-5	3	3	3	3

2) Calcular la DOSIS DE APLICACIÓN:

$$\text{DOSIS DE APLICACIÓN} = \text{Déficit de N} / \text{N BIOSOLIDOS}$$

Dónde:

DOSIS DE APLICACIÓN: cantidad de toneladas por hectárea a aplicar de biosólidos (Tn/ha en peso seco)

Déficit de N: Déficit de nitrógeno o requerimiento de la cantidad de N deseado a aplicar en el sitio para la plantación forestal o vegetación elegida dentro de los otros usos habilitados (kg/ ha)

N BIOSOLIDOS: Nitrógeno aportado por los biosólidos (kg/Tn)

Si se desea realizar una segunda aplicación de biosólidos al año siguiente, se deberá sumar el Nitrógeno orgánico remanente que no fue mineralizado de la primera aplicación al nitrógeno orgánico aportado por los biosólidos que serán aplicados en una segunda instancia, de manera que

$$\text{DOSIS DE APLICACIÓN (2)} = \text{Déficit de N} / (\text{N BIOSOLIDOS} + \text{N org remanente})$$

Dónde:

DOSIS DE APLICACIÓN (2): Dosis de aplicación de biosólidos durante el segundo año considerando el nitrógeno orgánico remanente proveniente de la primera aplicación

De esta manera, cada vez que se desee aplicar biosólidos en el sitio nuevamente, se deberá recalcular la dosis de aplicación considerando la acumulación de nitrógeno remanente.

B) CÁLCULO DE LA DOSIS DE APLICACIÓN EN BASE A FOSFORO

$$\text{DOSIS DE APLICACIÓN} = \text{Déficit de P} / \text{P BIOSOLIDOS}$$

Dónde:

Déficit de P: Déficit de fosforo o requerimiento de la cantidad de fosforo deseado a aplicar en el sitio para la plantación forestal o vegetación elegida dentro de los otros usos habilitados (kg/ ha)

P BIOSOLIDOS: Fosforo aportado por los biosólidos (kg/Tn)

C) CALCULO DE LA DOSIS DE APLICACIÓN EN PESO HUMEDO

Calculo en peso húmedo para Nitrógeno y Fosforo:

$$DOSIS DE APLICACIÓN (Tn/ha) = DOSIS DE APLICACIÓN / Contenido sólidos (*)$$

(*) La cantidad de solidos se encuentra expresada en decimales, no en porcentaje de sólidos.

ANEXO VI

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

1 - Consideraciones y precauciones previas:

- Es importante que las personas involucradas en la obtención y el procesamiento de muestras cuenten con la prevención sanitaria adecuada (vacunas tétanos, hepatitis A) y protección mínima para prevenir riesgos; como anteojos de seguridad, guantes, botas, mono de polietileno y otros que se consideren necesarios.
- A su vez, el personal que realice el muestreo deberá estar instruido en procedimiento del mismo, de los riesgos y de las precauciones y medidas de seguridad necesarias al momento de la toma de muestra.
- Se recomienda realizar un registro de la toma de muestra, considerando la fecha, responsable, cantidad y lugar dónde se tomó la muestra.
- Para reducir el error y que las muestras sean representativas para analizar en laboratorio, se recomienda tomar entre 5 y 10 kg.

2 - Procedimiento de muestreo:

Barros o biosólidos líquidos a semisólidos:

A) Al ser el material una matriz heterogénea con bajo porcentaje de sólidos (entre 5 y 25% dependiendo del tipo de tratamiento y deshidratación) es aconsejable realizar muestras compensadas considerando muestrear en función del caudal o flujo de generación de barros o en función del tiempo;

B) Cuando se desea muestrear barros cloacales que se obtienen de procedimientos de deshidratación continuos, como por ejemplo filtros de banda o centrifuga, deben tomarse muestras en diferentes puntos o profundidades del tanque o volquete de acopio de barros o a diferentes tiempos del equipo de deshidratación utilizado;

C) El volumen o tamaño de cada muestra debe ser equivalente en todos los puntos de muestreo;

D) Las muestras deben mantenerse refrigeradas a 4°C hasta arribo al laboratorio.

Barros o biosólidos semisólidos a sólidos:

Método del Cuarteo:

Al ser el material una matriz heterogénea con un mayor porcentaje de sólidos (entre 25 a 90%, dependiendo del tipo de tratamiento y deshidratación), es aconsejable realizar un cuarteo, que permite la homogeneización de la muestra y que la misma sea lo más representativa posible. En los casos donde los barros o biosólidos alcancen porcentajes de deshidratación altos (mayores al 50% aproximadamente, como en el caso de playas de secado) puede que los mismos adquieran una gran dureza, necesitando ser triturados previo al cuarteo.

Procedimiento de Cuarteo:

1. Se toman como mínimo 10 kg de barros o biosólidos resultantes de los distintos procesos de tratamiento o deshidratación;
2. Con el total del material muestreado se forma una pila cónica sobre un área plana horizontal y limpia, para asegurar que no haya pérdida de material o contaminación con material extraño;
3. La pila se traspalea, mezclando y depositando cada paleada sobre la anterior hasta homogeneizarla. Luego, se aplanada sobre el vértice hasta obtener un diámetro y espesor uniformes;
4. Se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales A, B, C, D y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D;
5. Las partes que no fueron eliminadas se vuelven mezclar y se vuelve a cuartear hasta obtener la cantidad de muestra deseada.

ANEXO VII

REFERENCIAS Y NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES COMPLEMENTARIAS

Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM 29559 Calidad ambiental. Calidad del suelo. *Guía metodológica para la utilización de barros o lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de efluentes cloacales.*

Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM 29557 Calidad ambiental. Calidad del suelo. *Caracterización de suelo excavado y otros materiales tipo suelo destinados a reúso.*

Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM 29012-13 Calidad ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Parte 13 . *Directivas para el muestreo de barros.*

Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM 29012-15 Calidad ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Parte 15 – *Guía para la manipulación y preservación de muestras de barros y sedimentos.*

Environmental Protection Agency - A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule.

Environmental Protection Agency - EPA 40 CFR Part 503 -Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge.

Utah State University (USA, 2000) - National Manual of Good Practice for Biosolids (USA, 2005) y Land

Application of Biosolid

Risks Associated with Application of Municipal Biosolids to Agricultural Lands in a Canadian Context - Canadian Municipal Water Consortium - Dr. Lynda H. McCarthy

Digitally signed by GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE
DN: cn=GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE, c=AR, o=MINISTERIO DE MODERNIZACION,
ou=SECRETARIA DE MODERNIZACION ADMINISTRATIVA, serialNumber=CUIT 30715117564
Date: 2018.04.26 16:37:38 -03'00'

Digitally signed by GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE
DN: cn=GESTION DOCUMENTAL ELECTRONICA - GDE, c=AR, o=MINISTERIO DE MODERNIZACION, ou=SECRETARIA DE MODERNIZACION ADMINISTRATIVA, serialNumber=CUIT 30715117564
Date: 2018.04.26 16:37:39 -03'00'