



7^{mo}
Congreso de
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN PILAS DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS AGROFORESTALES

Evolution of temperature in composting piles employing agroforestry residues

Liliana Teresa Contardi ^{1*}, Andrés de Errasti ¹²

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico. Ruta 259 km 4, (9200) Esquel, Chubut
² CONICET

*Autor para correspondencia: +54 02945 453948 lcontardi@ciefap.org.ar

Palabras clave: Patagonia, viruta, aserrín, estiércol ovino, estiércol equino, pasto verde, compost

Key words: Patagonia, wood shavings, sawdust, horse manure, sheep manure, green pasture, compost

Título abreviado: Evolución de temperatura en pilas de compostaje

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Univ.Nac.de la Patagonia S.J. Bosco, por financiar parte de las actividades del proyecto.

ABSTRACT

Sustainable agriculture promotes composting to achieve nutrient recycling, minimizing environmental impact due to organic wastes. At the “Natural Crops” facilities of the UNPSJB (Esquel head office), different composting experiences were performed, despite low temperatures of the Patagonian region could be a limiting factor. It was postulated that if adequate ratios of carbon-rich and nitrogen-rich compounds were employed, the pile would reach the thermophilic phase. The aim of this study was to evaluate the temperature along the process and to characterize the quality of the final product using pH, electric conductivity, granulometry, organic matter, C/N ratio and bio-essays as indicators. The first season, 2 turned windrow piles were constructed: wood shavings + horse manure and wood shavings + sheep manure. During the second season, green grass was added to the previous mixtures. Formulations employing wood shavings and manure were characterized by a maximum temperature of 55 °C within the 6-8th day, and formulations including green grass reached a maximum temperature of 60 °C within the 2nd – 4th day. Bio-essays suggested different qualities of the end product in each case, and confirmed the possibility of employing it as organic amendments and substrate. According with these experiences it's possible to meet the temperature requirements for the composting process (specially if green grass is added) despite the low temperatures in summer. As the original materials present high values of electric conductivity, different alternatives and managing of the composting process are being evaluated.

RESUMEN

Las practicas de manejo, en una agricultura sustentable, promueven la recirculación de nutrientes a través del compostaje de los residuos orgánicos, minimizando los impactos en el medioambiente. En el Área de Cultivo Natural de la UNPSJB (sede Esquel) se comenzaron experiencias de compostaje, utilizando subproductos agroforestales de origen local, si bien las bajas temperaturas de la región podrían ser una limitante para el proceso. Se postulo que si se mezclan en una proporción adecuada materiales orgánicos ricos en nitrógeno con otros ricos en carbono, se lograrían condiciones para que se cumpla la etapa termófila. El objetivo fue evaluar el comportamiento de la temperatura en pilas armadas con diferentes materiales y analizar las propiedades del compost obtenido. En la primer temporada se realizaron pilas, al aire libre, con residuos de

carpintería + estiércol de equino y ovino. En la segunda temporada se empleó además pasto verde. Se registró la evolución de la temperatura; las variaciones de propiedades físicas y químicas; y se testeó la madurez de los productos obtenidos. Los tratamientos con residuos de carpintería + estiércol presentaron picos térmicos (55 °C) a los 6-8 días de iniciado el proceso. En los tratamientos con residuos de carpintería + estiércol + pasto, los picos térmicos fueron más elevados (60 °C) y se alcanzaron a los 2-4 días. Los bioensayos evidenciaron diferencias en la calidad de los compost, con posibilidad de uso en enmiendas de suelo y/o preparación de sustratos de cultivo. Se concluye que es posible lograr temperaturas para que el proceso de compostaje se desarrolle, a pesar de las bajas temperaturas del verano, resultando más efectivo para este propósito el empleo de pasto y estiércol de ovino. Dado que estos materiales presentan una alta conductividad eléctrica inicial se siguen analizando otras alternativas para el manejo del proceso de compostaje.

INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva de la gestión integral de residuos, las técnicas de compostaje ofrecen una alternativa para la reutilización de desechos orgánicos en general, reduciendo su volumen y generando un producto útil. Las prácticas de manejo, en una agricultura sustentable, también promueven el compostaje de los residuos de origen orgánico, asegurando la recirculación de nutrientes y minimizando los impactos en el medioambiente (Altieri & Nicholls, 2000).

El compostaje es un proceso biológico de degradación aeróbica de la materia orgánica. Es llevado a cabo por microorganismos cuyo crecimiento y desarrollo está regulado por un conjunto interrelacionado de factores tales como temperatura ambiente, tipo de materiales a compostar, tamaño de partículas, humedad, entre otros (Cooperband, 2002;

Labrador Moreno, 1996). Para alcanzar un equilibrio que permita el desarrollo de los microorganismos responsables del proceso de compostaje se necesita esencialmente una relación adecuada de materias carbonadas como fuente de energía y materias nitrogenadas para la formación de biomasa (Dalzell *et al.*, 1991; Frioni, 1999). Estas proporciones aseguran que se cumpla la etapa termófila del compostaje con temperaturas mayores a 35- 40 °C.

Uno de los residuos de la actividad maderera es la mezcla de viruta y aserrín que se genera en las carpinterías, los cuales no reciben actualmente un manejo planificado. Es común que se los disponga al aire libre sin ningún manejo posterior. La degradación natural al aire libre de la viruta y aserrín es muy lenta por el alto contenido de carbono que tienen en su composición química (Rynk, 1992). Las bajas temperaturas ambientales de esta región (área cordillerana del Chubut), aun durante el ciclo de verano, es otro factor que no favorece su descomposición. Como residuos ricos en nitrógeno se dispone en la región de estiércol del ganado equino, ovino, bovino y material de limpieza de jardines.

El objetivo del trabajo fue verificar el desarrollo de la etapa termófila en pilas de compostaje al aire libre utilizando materiales disponibles en la región, caracterizando la madurez del producto final y la posibilidad de emplearlo como enmienda del suelo y/o sustrato en el cultivo de plantines.

METODOLOGÍA

Las experiencias de compostaje, de subproductos agroforestales de origen local, se realizaron en el Área de Cultivo Natural de la UNPSJB (sede Esquel, Chubut), ubicada a 42° 56' Lat. Sur y 71° 22' Long. Oeste, a 520 m snm. La temperatura media anual es de 8.2 °C y la temperatura media de Enero es de 14.3 °C.

Los materiales empleados fueron viruta y aserrín (Vi) proveniente de una carpintería; estiércol de equino (EEq) y de ovino (EOv) de chacras de la zona; pasto verde (PV) de la limpieza de jardines y plazoletas. En noviembre de 2009 se armaron las siguientes pilas de compostaje: Vi sola, Vi+ EEq (2:1) y Vi+ EOv (2:1). Al año siguiente, en octubre de 2010, se armaron otras pilas con las siguientes combinaciones Vi+ EEq+ PV (1:1:1) y Vi+ EOv+ PV (1:1:1). Las proporciones se refieren a volumen sobre volumen. Los materiales a compostar se humedecieron, homogeneizaron y se dispusieron en montones al aire libre de aproximadamente 1,20 m de ancho, 1,50 m de largo por 0,80 m de alto. Se optó por estas dimensiones ya que todo el manejo se realizaría en forma manual, reproduciendo las condiciones reales de trabajo por parte de los operarios en una chacra o granja familiar. Se cubrieron completamente con plástico negro para conservar la humedad y el calor generado. Se realizaron volteos cuando fue necesario evitar la compactación, aumentar la aireación, y homogeneizar el proceso incorporando la capa externa de material hacia el interior de la pila. Se regaron cuando se observó excesiva pérdida de humedad. Se registró la temperatura en forma diaria en 2 puntos a 30 cm del borde externo, hasta que se estabilizó con la del ambiente.

Para evaluar el tamaño inicial y final de las partículas de las distintas pilas se determinó la granulometría de los mismos. Cinco muestras de cada material se pasaron por un juego de tamices de distinto tamaño (4 mm, 2mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm), recolectando cada una de las fracciones retenidas en cada tamiz y cuantificando su peso. Cada una de las fracciones se expresó con base en porcentaje en relación con el peso inicial.

Luego de 11 meses de armadas las pilas se considero que el compost estaba en la fase de madurez teniendo en cuenta los criterios de Dalzell *et al.* (1991) y Labrador Moreno (2001) tales como temperatura estable, igual o similar a la del ambiente, color oscuro, olor a tierra y dificultad para reconocer los materiales iniciales. En esa etapa se sacó una muestra compuesta de cada pila, se dejó secar al aire y se zarandó por malla de 2 mm; si había materiales mas gruesos se molieron con molinillo. Se determino el pH y la conductividad eléctrica (CE) en una dilución 1:10; materia orgánica (MO) por ignición en mufla a 430 °C (método Davis); nitrógeno total (N) por el método Kjeldahl.

La presencia de compuestos fitotóxicos se testeó mediante bioensayos de siembra y crecimiento de *Hordeum vulgare* L. (cebada). Con una muestra de cada compost final se llenaron 4 bandejas plásticas y se sembraron 50 semillas de cebada en cada una. Como control se uso un sustrato formulado con 70 % de turba *Sphagnum* + 30 % de arena volcánica. Cada bandeja fue colocada dentro de una bolsa de nylon transparente sellada para conservar la humedad. El ensayo fue ubicado en cámara de germinación, con fotoperiodo de 16 horas, a 22 °C ± 2, en un diseño completamente al azar. Al cabo de 7 días se evaluó el porcentaje de germinación, la longitud de las hojas y el peso fresco

aéreo de las plántulas. Se realizó el análisis de la varianza de las variables cuantificadas y posteriormente se compararon las medias con el test de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Tabla 1. Características químicas iniciales de los materiales empleados en el compostaje.

Table 1. Chemical characteristics of the raw materials employed in the composting process.

Materiales	MO (%)	C (%)	N (%)	C/N
Viruta y aserrín 2009	98	55	0.14	390
Estiércol equino 2009	67	38	1.82	21
Estiércol ovino 2009	59	33	2.28	14
Viruta y aserrín 2010	88	49	0.34	142
Estiércol equino 2010	64	36	1.23	29
Estiércol ovino 2010	45	25	1.72	15
Pasto verde 2010	64	36	1.79	20

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La pila de viruta y aserrín no registró elevación de la temperatura, siendo siempre similar a la del ambiente. La alta proporción de moléculas carbonadas en relación al contenido de nitrógeno de este material (Tabla 1) no favoreció el crecimiento de la masa microbiana ni el incremento de la temperatura. En las restantes pilas, en las cuales se incorporó estiércol y/o pasto verde, que tienen mayor proporción de nitrógeno (Tabla 1) rápidamente se inició la fase termófila con temperaturas mayores a 35- 40 °C.

En las pilas Vi+ EEq y Vi+ EOv, realizadas en 2009, la temperatura ascendió desde la formación de las mismas, permaneciendo en la fase termófila 9 y 17 días respectivamente (Figura 1). Los picos térmicos se registraron a los 6-8 días de iniciado el proceso, con 47 °C en la pila Vi+ EEq y 55 °C en la pila Vi+ EOv. La temperatura en ambos casos se mantuvo mayor a la del ambiente por varias semanas hasta que se estabilizó. En las pilas Vi+ EEq+ PV y Vi+ EOv+ PV, realizadas en 2010, la temperatura también ascendió desde su construcción, permaneciendo en la fase termófila 9 y 10 días respectivamente (Figura 2). Los picos térmicos se registraron a los 2-4 días de iniciado el proceso, con 61 °C en ambos casos. Una segunda fase termófila de menor duración y con temperaturas menores se registró alrededor de los 20 días, posteriormente al volteo. La temperatura se estabilizó con la del ambiente después de los 50 días. En las dos temporadas las pilas con estiércol de oveja presentaron una temperatura levemente mayor en comparación a las armadas con estiércol de equino.

En todas las experiencias se observó un descenso de la temperatura del proceso, los días posteriores al registro de temperaturas bajas en el ambiente.

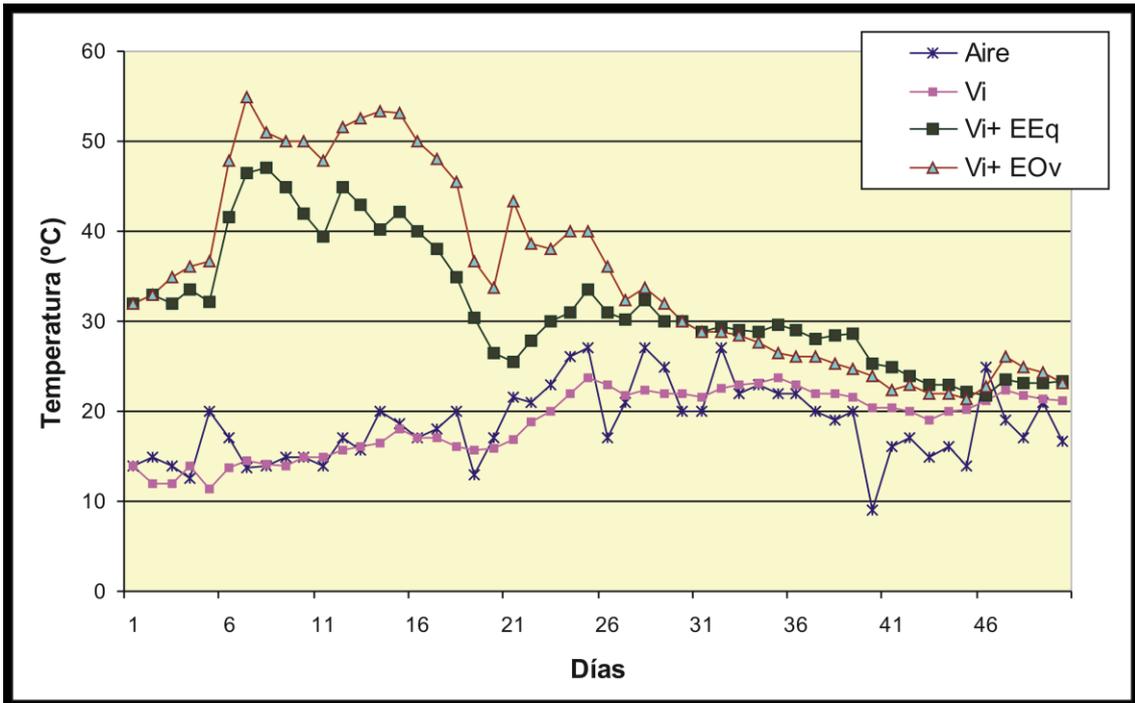


Figura 1. Evolución de la temperatura de las pilas de compostaje armadas en Noviembre del 2009.

Figure 1. Temperature evolution of composting piles built on November 2009

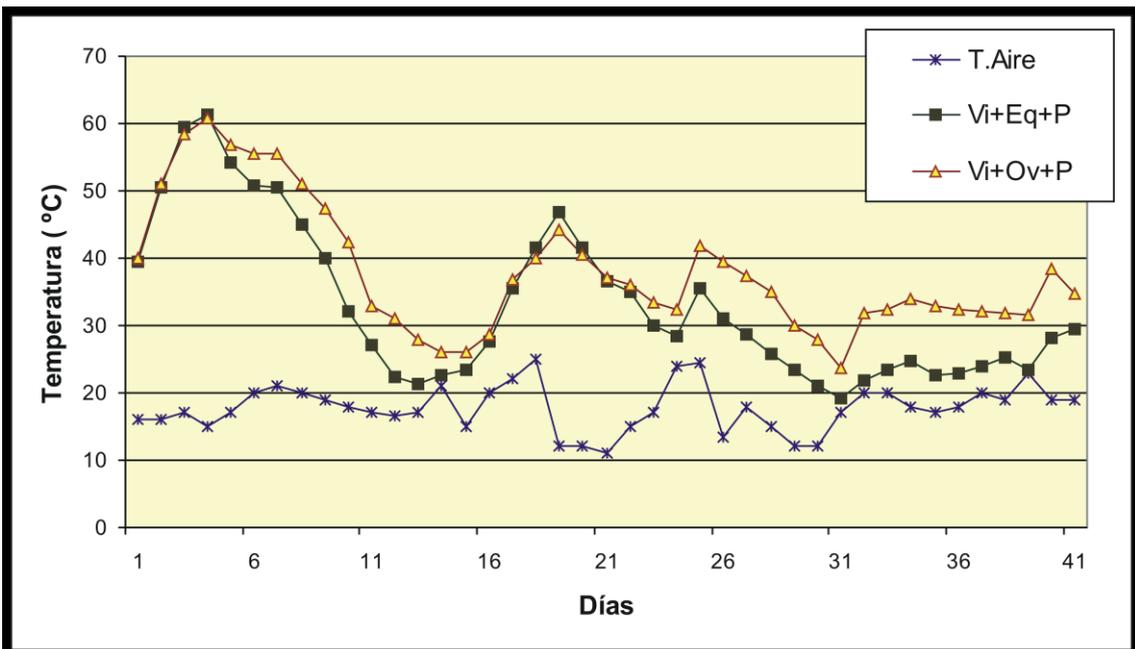


Figura 2. Evolución de la temperatura de las pilas de compostaje armadas en Octubre del 2010.

Figura 2. Temperature evolution of composting piles built on October 2010

La proporción de compuestos carbonados y nitrogenados que aportan los materiales con los cuales se inicia el compostaje favorecen o retardan la evolución de la temperatura. De los materiales usados en este trabajo la combinación de viruta y aserrín+ estiércol + pasto verde fue la más efectiva para lograr picos térmicos superiores y por un periodo de tiempo más prolongado. Esta suba inicial de la temperatura es causada por la rápida descomposición de la materia orgánica aportada por los residuos vegetales y que fácilmente esta disponible para los microorganismos (Ross *et al.*, 2006; Ullé, 2009).

El tamaño inicial de las partículas al momento de armar las pilas fue menor a 50 mm, y el 70 % tenía una granulometría inferior a 4 mm, por lo que no fue necesaria una trituración previa de los materiales. El tamaño de las partículas del material original condiciona la velocidad con que ocurren las reacciones dentro del proceso de compostaje dado que cuanto menor sea su tamaño mayor será la superficie de contacto con los microorganismos y consecuentemente se facilitará la degradación de la materia orgánica (Day & Shaw, 2005; Moreno Casco & Mormeneo Bernat, 2008). El rango aceptable va a depender del material a compostar, del tamaño de la pila y de las condiciones locales del clima (Rynk, 1992).

Al final del proceso el tamaño de las partículas disminuyó como resultado de la degradación de los materiales. La mayor proporción de partículas (57 a 79 %) estaba en la fracción media (0,5 a 2 mm), en la fracción fina (<0,5 mm) había de 12 a 28 %, y en la fracción gruesa había (>4 mm) de 9 a 22%, dependiendo del material (Figura 3). Estas características granulométricas permitirían usar los compost obtenidos en mezclas para sustratos en la producción de plantas asegurando una eficaz retención del agua y

una aireación suficiente para permitir el transporte de oxígeno a las raíces (Cabrera, 1999).

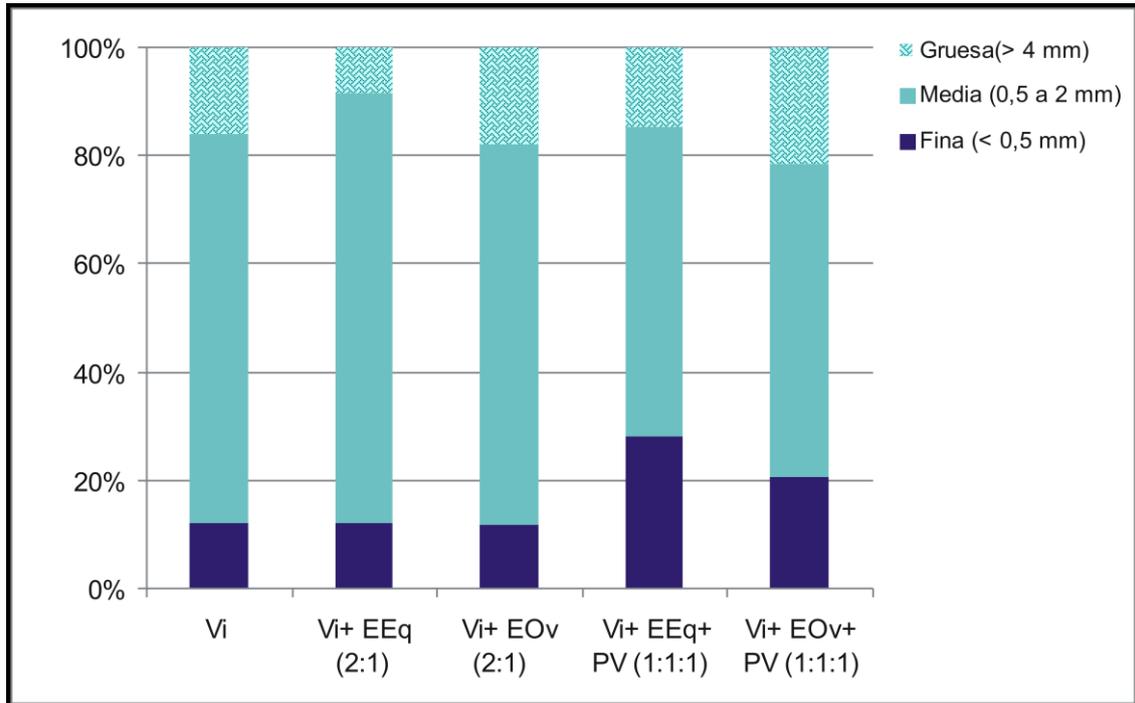


Figura 3. Distribución en porcentaje de las partículas gruesas, medianas y finas al finalizar el compostaje en las distintas pilas.

Figure 3. Percentage distribution of thick, medium and fine particles after the composting of different piles.

Las propiedades químicas de los compost obtenidos se pueden observar en la Tabla 2. El rango de pH observado (6.6 – 7.8) se condice con valores aceptados para este tipo de materiales (INN, 2004; Cooperband, 2002). Considerando los valores de CE que se registraron en los estiércoles y en los residuos de jardín antes de iniciar el compostaje (Tabla 1) los niveles finales de concentración de sales no fueron excesivamente altos para su empleo como enmienda de suelos. Sin embargo estos valores no permitirán usarlos como únicos componentes de un sustrato, teniendo en cuenta los rangos recomendados por Lang (1996) para los medio de crecimiento de plantas. Los valores de la relación C/N fueron de 11 a 20. Se estima que cuando esta relación es menor a 20

el compost está maduro, en especial cuando se parte de materiales ricos en lignina (Iglesias Jiménez *et al.*, 2008).

Tabla 2. Características químicas de los productos finales del compostaje de viruta y aserrín, estiércoles de equino y ovino, y pasto verde.

Table 2. Chemical characteristics of the final products obtained from sawdust and wood shavings, horse manure, sheep manure and green pasture composting.

Pila	pH (1:10)	CE (1:10) (mS/cm)	MO (%)	C (%)	N (%)	C/N
Vi+ EEq (2:1)	6.6	1.43	54	30.1	1.51	20
Vi+ EOv (2:1)	7.4	2.41	58	32.5	1.84	18
Vi+ EEq+ PV (1:1:1)	7.8	1.86	34	18.9	1.31	14
Vi+ EOv+ PV (1:1:1)	7.5	1.33	32	17.7	1.51	11

CE= conductividad eléctrica, MO= materia orgánica; C= carbono orgánico; N= nitrógeno total; N/C= relación carbono / nitrógeno.

Analizando en su conjunto las propiedades químicas y físicas evaluadas se puede establecer que el producto final obtenido es de una madurez aceptable. Ahora bien, aunque estos parámetros son buenos estimadores, el indicador fundamental de la madurez de un compost es la respuesta observada en el desarrollo vegetal (Sullivan & Miller, 2005). En este sentido, suele evaluarse mediante bioensayos la fitotoxicidad de los compost obtenidos (Iglesias Jiménez *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2008; Varnero *et al.*, 2007; Zubillaga *et al.*, 2008). El bioensayo de germinación y crecimiento de semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) no detectó la presencia de compuestos fitotóxicos. La germinación fue del 98 % en el ensayo de los compost de 2009 y del 94

a 96 % en los compost de 2010 (Tabla 3). El desarrollo de las plántulas en cuanto a velocidad de emergencia y crecimiento fue homogéneo en todos los tratamientos. A los 7 días las plántulas tenían un aspecto vigoroso y color verde típico de la especie, sin síntomas de toxicidad. Las semillas germinadas en los compost de las dos temporadas dieron plántulas de mayor peso fresco y mayor longitud de la parte aérea, siendo significativa esa diferencia en comparación con el sustrato testigo (Tabla 3). Resultados con la misma tendencia se obtuvieron en pruebas de germinación de rabanito en extracto de compost y en el cultivo de plántulas de lechuga empleando los compost como componentes del sustrato. Estos resultados sugieren la posibilidad de su utilización en la preparación de sustratos de cultivo en mezclas con otros materiales.

Tabla 3. Porcentaje de germinación, peso fresco aéreo y longitud de hojas de cebada desarrolladas en los distintos compost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Table 3. Germination percentage, shoot fresh weight and leaf longitude of barley grown in different composting products. Different letters indicate significant differences between treatments.

	% Germinación	Peso fresco aéreo (g)	Longitud hojas (cm)
Compost 2009			
Testigo	98	0.36 ± 0.03 a	11.1 ± 0.66 a
Vi+ EEq (2:1)	98	0.67 ± 0.03 b	15.5 ± 0.50 b
Vi+ EOv (2:1)	98	0.61 ± 0.03 b	15 ± 0.39 b
Compost 2010			
Testigo	96.5	0.27 ± 0.06 a	8.4 ± 1.32 a
Vi+ EEq+ PV (1:1:1)	94	0.47 ± 0.07 b	11.8 ± 1.15 b
Vi+ EOv+ PV (1:1:1)	94.5	0.54 ± 0.09 b	11.9 ± 1.35 b

CONCLUSIÓN

Es posible lograr temperaturas para que el proceso de compostaje se desarrolle, a pesar de las bajas temperaturas, resultando más efectivo para este propósito el empleo de pasto y estiércol de ovino. Con los materiales disponibles localmente se puede lograr un compost en un ciclo anual que posteriormente podría usarse como enmienda orgánica y/o incorporarse en mezclas como componente de sustratos para la producción de plantas en envases.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri M & Nicholls CI. 2000. *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. PNUMA, México: 257 p
- Cabrera RI. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Rev Chapingo Ser Hort*, 5: 5-11
- Cooperband L. 2002. The art and science of composting.
- <http://www.wastenot-organics.wisc.edu/05composting/publications/artofcomposting.pdf>
- Dalzell HW, Biddlestone AJ, Gray KR & Thurairajan K. 1991. Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de Suelos de la FAO 56*, Roma, Italia: 177 p
- Day M & Shaw K. 2005. Procesos biológicos, químicos y físicos del proceso del compostaje. P 17-51 En: Stoffella PJ & Kahn BA (ed), *Utilización de Compost en los Sistemas de cultivo hortícola*. Mundi Prensa, Madrid, España
- Frioni L. 1999. *Procesos microbianos*. Editorial Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina, 2: 286 p

- Iglesias Jiménez E, Barral Silva MT & Marhuenda Egea FC. 2008. Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. P 245- 283 En: Moreno Casco J & Moral Herrero R (ed,) *Compostaje*. Mundi - Prensa, Madrid, España
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 2004. Norma Chilena de Compost 2880-2004 (NCh 2880-2004), Compost -Clasificación y Requisitos, Chile: 23 p
- Labrador Moreno J. 1996. *La materia orgánica en los agrosistemas*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España: 174 p
- Lang HJ. 1996. Growing media testing and interpretation. P 123 -139 En: Reed DW (ed), *Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops*. Bull publishing, Illinois, USA
- Martinez RM, Miglierina AM, Luna M, van Konijnenburg A & Pellejero G. 2008. Evaluación del compostaje de los residuos del procesamiento de la cebolla. *Revista Pilquen*, 10 (9): 1-8
- Moreno Casco J & Mormeneo Bernat S. 2008. Microbiología y bioquímica del compostaje. P 113- 140 En: Moreno Casco J & Moral Herrero R (ed) *Compostaje*. Mundi - Prensa, Madrid, España
- Ross M, García C & Hernández T. 2006. A full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetics changes in chemical and microbial properties. *Waste Management* 26: 1108-1118
- Rynk R. 1992. *On-farm composting handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension Service, Ithaca, New York: 186 p
- Sullivan DM & Miller RO. 2005. Propiedades cualitativas, medición y variabilidad del compost. P 95- 117 En: Stoffella PJ & Kahn BA (ed) *Utilización de Compost en los Sistemas de cultivo hortícola*. Mundi Prensa, Madrid, España
- Ullé JS. 2009. Determinación de temperaturas máximas, en pilas de compost de aireación estática a partir de estiércoles en mezclas con residuos vegetales. P 64-

66 En: *Informe Técnico 2009 del Centro Regional Buenos Aires Norte del INTA*. Pergamino, Buenos aires, Argentina

- Varnero MT, Rojas C & Orellana R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 7: 28-37
- Velasco-Velasco VJ, Figueroa SB, Ferrera CR, Trinidad SA & Gallegos SJ. 2004. CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana*, 22: 307-316
- Zubillaga MS, Branzini A & Lavado RS. 2008. Problemas de fitotoxicidad en Compost. *Revista Pilquen*, 10 (9): 1-9